

Aus der Klinik und Poliklinik für Radiologie
der Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. J. Lissner

DETAILERKENNBARKEIT BEI DOPPELKOPF-SCANNER-SZINTIGRAPHIE
(UNTER ANWENDUNG DES ARITHMETISCHEN BZW. GEOMETRISCHEN
MITTELS) UND BEI KAMERA-SZINTIGRAPHIE

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Helmut Feucht
aus Passau

München

1977

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der
Universität München

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr.med. H.G.Heinze

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. J. Lissner

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Juni 1977



INHALTSVERZEICHNIS DER DRITTELEN, ZWEITEN-
UND ERSTEN BANDS

1	Einleitung	1
2	Einleitung des Verfassers zum ersten Band	2
3	Einleitung des Verfassers zum zweiten Band	3
4	Einleitung des Verfassers zum dritten Band	4
5	Einleitung des Verfassers zum vierten Band	5
6	Einleitung des Verfassers zum fünften Band	6
7	Einleitung des Verfassers zum sechsten Band	7
8	Einleitung des Verfassers zum siebten Band	8
9	Einleitung des Verfassers zum achten Band	9
10	Einleitung des Verfassers zum neunten Band	10
11	Einleitung des Verfassers zum zehnten Band	11
12	Einleitung des Verfassers zum elften Band	12
13	Einleitung des Verfassers zum zwölften Band	13
14	Einleitung des Verfassers zum dreizehnten Band	14
15	Einleitung des Verfassers zum vierzehnten Band	15
16	Einleitung des Verfassers zum fünfzehnten Band	16
17	Einleitung des Verfassers zum sechzehnten Band	17
18	Einleitung des Verfassers zum siebenzehnten Band	18
19	Einleitung des Verfassers zum achtzehnten Band	19
20	Einleitung des Verfassers zum neunzehnten Band	20
21	Einleitung des Verfassers zum zwanzigsten Band	21
22	Einleitung des Verfassers zum einundzwanzigsten Band	22
23	Einleitung des Verfassers zum zweiundzwanzigsten Band	23
24	Einleitung des Verfassers zum dreiundzwanzigsten Band	24
25	Einleitung des Verfassers zum vierundzwanzigsten Band	25
26	Einleitung des Verfassers zum fünfundzwanzigsten Band	26
27	Einleitung des Verfassers zum sechsundzwanzigsten Band	27
28	Einleitung des Verfassers zum siebenundzwanzigsten Band	28
29	Einleitung des Verfassers zum achtundzwanzigsten Band	29
30	Einleitung des Verfassers zum neunundzwanzigsten Band	30
31	Einleitung des Verfassers zum hundertsten Band	31

MEINER VERSTORBENEN MUTTER



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

DETAILERKENNBARKEIT BEI DOPPELKOPF-SCANNER-SZINTIGRAPHIE

1	Einleitung	1
2	Verwendete Geräte und Meßtechnik	2
3	Szintigraphie einer schrägen Linienquelle in Wasser zur Ermittlung des besten Kollimatorenabstandes	5
3.1	Szintigramme bei Kollimatorenabstand 32 cm	7
3.2	Szintigramme bei Kollimatorenabstand 29 cm	7
3.3	Szintigramme bei Kollimatorenabstand 26 cm	10
3.4	Szintigramme bei Kollimatorenabstand 23 cm	11
3.5	Ergebnis	13
4	Theorie des geometrischen Mittels	15
5	Messung der Impulsraten von heißen Herden in Abhängigkeit von der Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter	20
5.1	Versuchsaufbau und Durchführung	20
5.2	Impulsraten des Zylinders mit 4 cm Durchmesser, 4 cm Höhe bei dem Abstand Ober-Unterkopf 26 cm	21
5.3	Impulsraten des Zylinders mit 4 cm Durchmesser, 4 cm Höhe bei dem Abstand Ober-Unterkopf 32 cm	23
5.4	Impulsraten des Zylinders mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe bei dem Abstand Ober-Unterkopf 26 cm	24
5.5	Impulsraten des Zylinders mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe bei dem Abstand Ober-Unterkopf 32 cm	25
5.6	Zusammenfassendes Ergebnis	26
6	Detailerkennbarkeit von heißen Herden ohne und mit Untergrundstrahlung	27
6.1	Position 1: Symmetrische Anordnung (Abstand Ober-Unterkopf: 26 cm)	28

6.2	Position 2: Asymmetrische Anordnung (Abstand Ober-Unterkopf: 26 cm)	32
6.3	Position 3: Symmetrische Anordnung (Abstand Ober-Unterkopf: 32 cm)	37
6.4	Position 4: Asymmetrische Anordnung (Abstand Ober-Unterkopf: 32 cm)	41
7	Detailerkennbarkeit von kalten Herden	43
7.1	Position 1: Symmetrische Anordnung (Abstand Ober-Unterkopf: 26 cm)	43
7.2	Position 2: Asymmetrische Anordnung (Abstand Ober-Unterkopf: 26 cm)	45
7.3	Position 3: Symmetrische Anordnung (Abstand Ober-Unterkopf: 32 cm)	45
7.4	Position 4: Asymmetrische Anordnung (Abstand Ober-Unterkopf: 32 cm)	48
8	Zusammenfassende Übersicht der szinti- graphischen Erkennbarkeit von heißen Herden ohne und mit Untergrundstrahlung	50
8.1	Position 1	50
8.2	Position 2	52
8.3	Position 3	52
8.4	Position 4	55
8.5	Ergebnisse	58
9	Zusammenfassende Übersicht der szinti- graphischen Erkennbarkeit von kalten Herden in strahlender Umgebung	60
9.1	Position 1 und 2	60
9.2	Position 3 und 4	60
9.3	Ergebnisse	65

DETAILERKENNBARKEIT BEI KAMERASZINTIGRAPHIE

10	Verwendete Geräte	66
11	Erkennbarkeit von heißen Herden	69

11.1	Zunehmende Tiefenlage des Phantoms in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter ohne Untergrundstrahlung	69
11.2	Zunehmende Tiefenlage des Phantoms in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter mit Untergrundstrahlung	75
12	Erkennbarkeit von kalten Herden	82
12.1	Zunehmende Tiefenlage des Phantoms in einem 18 cm tiefen, mit Aktivität gefüllten Behälter	82
13	Vergleich der Erkennbarkeit von heißen und kalten Herden bei Doppelkopf- scanner - und bei Kamera-Szintigraphie	90
14	Diskussion	91
15	Zusammenfassung	100
Literaturverzeichnis		102
Anhang		
Lebenslauf		

1 Einleitung

Wie kaum ein anderes Fach in der Medizin ist die Nuklearmedizin in ihrer Weiterentwicklung von den Möglichkeiten der apparativen Technik, d. h. dem Entwicklungsstand der Industrie abhängig. Zu prüfen bleibt jedoch stets die Frage, ob Neuerungen auf technischem Gebiet geeignet sind, auch neue Erkenntnisse in der Medizin zu ermöglichen. Das Problem sinnvoller Anwendung von gegebenen technischen Möglichkeiten im klinischen Bereich wird auch am Beispiel des Doppelkopf-Scanners deutlich. Er hat in zunehmendem Maße Eingang in die klinische Routine gefunden. Dies macht eine gründliche Erforschung seines Einsatzbereiches nötig.

Es wurden daher Phantom-Untersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel:

1. die optimalen Kollimatorabstände für die Szintigraphie mit einem Doppeldetektorsystem zu ermitteln,
2. die Besonderheiten der gemeinsamen Impulswertverarbeitung (arithmet. und geom. Mittel) zu erfassen,
3. zu prüfen, ob die Detailerkennbarkeit von tief gelegenen "heißen" und "kalten" Herden bei gemeinsamer Impulswertverarbeitung verbessert werden kann,
4. bei analogen Versuchsanordnungen einen Vergleich zur Kameraszintigraphie durchzuführen.

2 Verwendete Geräte und Meßtechnik

Die Messungen wurden durchgeführt mit dem Doppelkopf-Scanner Scintimat 2 mit Untertisch-Meßkopf, daran angeschlossen ein Szintigramm-rechner, ein Impulsbandspeicher und ein zusätzlicher Szintigrammschreiber. Das Gerät wurde uns freundlicherweise von der Firma Siemens AG zur Verfügung gestellt.

Die verwendeten Kollimatoren waren vom Typ 5/TII ($f = 13 \text{ cm}$). Abbildung 2.1 zeigt den schematisierten Schaltplan.

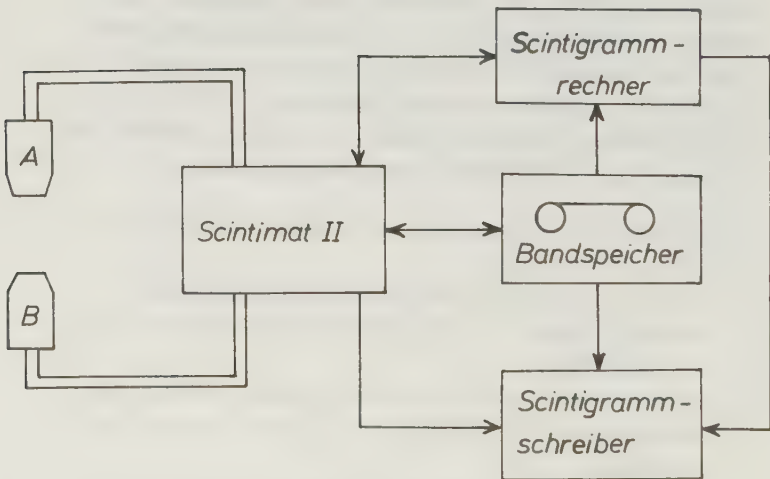


Abb. 2.1: Schaltplan des Scintimat 2 mit Rechner, Impulsbandspeicher und Szintigramm-schreiber

Während eines Scanvorganges erhält man gleichzeitig die Bilder vom Oberkopf (a) und Unterkopf (b). Die beiden Informationen werden auf Band gespeichert und können anschließend durch den Szintigrammrechner gemeinsam verarbeitet werden. Die Strichszintigramm-Wiedergabe kann dann wahlweise auf dem Szintigrammschreiber oder Scanner mit einer höheren Schreibgeschwindigkeit als der ursprünglichen Scangeschwindigkeit erfolgen.

Der Szintigrammrechner ermöglicht verschiedene Arten der Impulswertverarbeitung. Bei den Untersuchungen beschränkte ich mich auf die arithmetische Mittelbildung ($\frac{a+b}{2}$) und die geometrische Mittelbildung ($\sqrt{a \cdot b}$). Die Bildung der Impulssumme ($a+b$) ist gleichbedeutend der arithmetischen Mittelbildung, da Statistik und Rechenvorgang identisch sind. Als neues Impulsmaximum wird hierbei die Summe der beiden Einzelmaxima eingestellt. Es soll daher im folgenden das Bild der Impulssumme ($a+b$) als arithmetisches Mittel gelten.

Das arithmetische Mittel wird durch analoge Addition mittels Bandspeicher gebildet, das geometrische Mittel dagegen mit Hilfe des Szintigrammrechners, wobei gleichzeitig eine Glättung über 5 mm Integrationsstrecke vorgenommen wird.

Damit das Bild des geometrischen Mittels digital ausgedruckt werden kann, müssen zuerst die den Impulsmaxima (100 %) von Ober- und Unterkopf entsprechenden D_{Max} -Werte auf dem Rechner eingestellt werden. D_{Max} ist ein Maß für die

Primär-Informationsdichte eines Szintigramms und wird gebildet aus dem Quotienten der gemessenen Impulsrate n und der eingestellten Abtastgeschwindigkeit v .

$$D_{\text{Max}} = \frac{n}{v} = \frac{\text{Imp} \cdot \text{sec}}{\text{sec} \cdot \text{mm}} = \frac{\text{Imp}}{\text{mm}}$$

Die Primär-Informationsdichte gibt also an, wieviele Impulse längs einer Szintigrammstrecke von 1 mm zur Sicherheit der Informationsdarstellung beigetragen haben.

Bei unserem Digitalrechner liegt die obere Grenze der Impulsdichte bei einem $D_{\text{Max}} = 100$. Darüber hinaus wird die Speicherkapazität des Rechners überschritten. Ist D_{Max} größer als der Wert 100, so kann auf die digitale Verarbeitung eines Szintigramms (= Glättung) jedoch auch verzichtet werden, da in diesem Bereich das Auflösungsvermögen der Analogdarstellung ausreicht. Die digitale Darstellung ist nur bei geringerer Informationsdichte vorteilhaft anwendbar, d. h. bei D_{Max} -Werten ≤ 100 .

3 Szintigraphie einer schrägen Linienquelle in Wasser zur Ermittlung des besten gegenseitigen Abstandes der beiden Kollimatoren

Als optimaler Abstand bei der Doppelkopfszintigraphie soll derjenige Kollimatorabstand gelten, bei dem die beiden Kollimatoren - einander ergänzend - eine möglichst tiefe, zusammenhängende Schicht eines Körpers mit etwa gleicher Empfindlichkeit erfassen. Die Versuchsanordnung, mit der dieser optimale Abstand ermittelt wurde, ist in Abb. 3.1.1 schematisch dargestellt. In einem 19,5 cm tiefen Wasserbehälter befindet sich eine schräge Linienquelle (Neigungswinkel $\alpha = 26,5^\circ$, $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{2}$). Die Linienquelle (Plastikschläuchlein von 5 mm Durchmesser) ist mit 200 μCi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Lösung gefüllt und schließt nach oben genau mit der Wasseroberfläche ab. Aus Gründen der Meßsymmetrie haben Ober- und Untertischdetektor gleichen Abstand von der Mitte der Linienquelle. Zu beachten ist noch, daß sich für die Impulsausbeute des Unterkopfes zusätzlich zur Wasserabsorption noch der Wannenboden und die Plexiglastischplatte ($d = 15 \text{ mm}$) schwächend auswirken. Daraus resultiert eine etwas kleinere Impulsausbeute des Unterkopfes. Dieser Unterschied war jedoch deshalb gering, da der obere Detektor eine etwas schwächere Empfindlichkeit besaß als der untere und sich diese beiden Effekte gegenseitig aufhoben.

Szintigraphiert wurde die Linienquelle bei den Kollimatorabständen 32 cm, 29 cm, 26 cm und 23 cm.

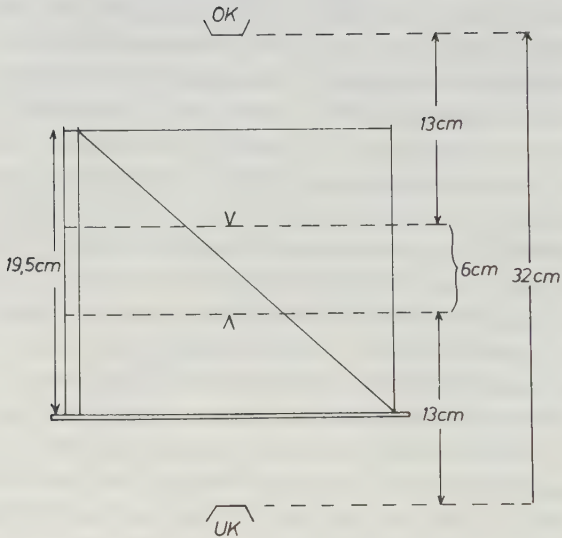


Abb. 3.1.1:

Versuchsanordnung:

Schräge Linienquelle in einem 19,5 cm tiefen
Wasserbehälter bei einem Kollimatorenabstand
von 32 cm

OK: Oberkopf

UK: Unterkopf

Bei allen folgenden szintigraphischen Abbildungen handelt es sich um Schwarz-Weiß-Wiedergaben von Farbszintigrammen. Text und Auswertung beziehen sich auf die Original-Farbszintigramme.

3.1 Szintigramme bei Kollimatorenabstand 32 cm (s. Abb. 3.1.2)

Kollimator: Typ 5/TII, $f = 13$ cm

Die beiden Einzelszintigramme zeigen das bekannte, durch Absorption und Kollimation bedingte Bild der Linienquelle. Auf dem Szintigramm a+b sind deutlich die beiden getrennt erfaßten Schichttiefen und der mit geringer Empfindlichkeit aufgenommene Bezirk in der Mitte zu erkennen.

Das geometrische Mittel liefert nur eine äußerst spärliche Impulsausbeute und eine undeutliche Wiedergabe. (Die theoretischen Gründe hierfür werden später erörtert.)

3.2 Szintigramme bei Kollimatorenabstand 29 cm (s. Abb. 3.2)

Bei ansonsten gleicher Versuchsanordnung nähern sich Ober- und Unterkopf jeweils 1,5 cm der Wasseroberfläche, bzw. der Tischplatte. Die beiden Fokusebenen sind bis auf 3 cm aneinandergerückt.

Das Additionsbild ergibt eine Spindelfigur mit schwächerer Impulsausbeute in der Mitte. Das eingestellte Impulsratenmaximum wird nicht erreicht, d. h. es erscheint noch kein rot dargestellter Aktivitätsbezirk auf dem Szintigramm. Das geometrische Mittel zeigt eine schwache Verdichtung in der Mitte, ansonsten weiterhin eine schlechte Impulsausbeute.

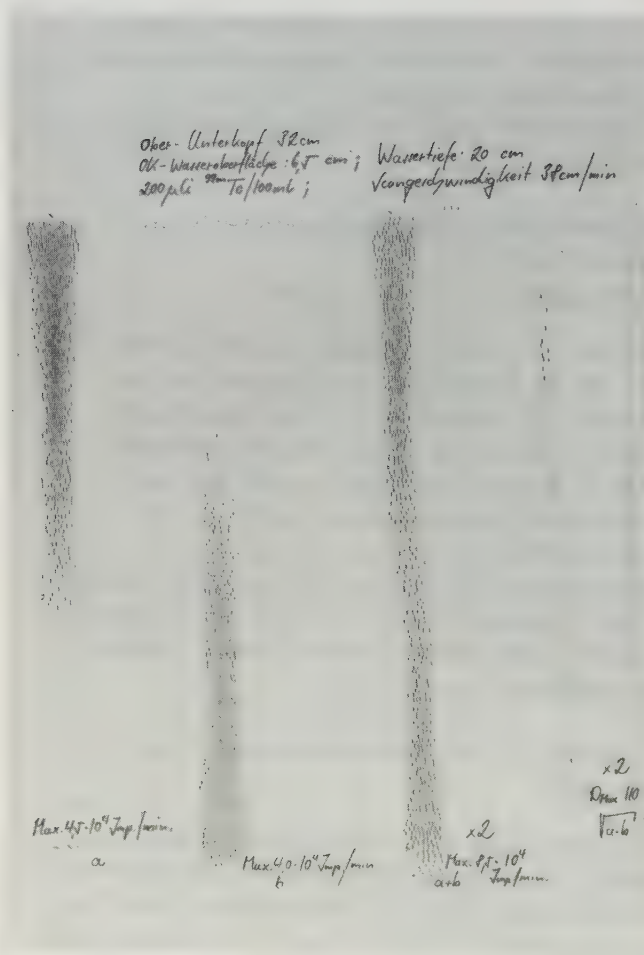


Abb. 3.1.2: Szintigramme einer schrägen Linienquelle in Wasser bei einem Kollimatorenabstand von 32 cm (vgl. Abb. 3.1.1)

a: Oberkopf

b: Unterkopf

a+b: arithmetisches Mittel

$\sqrt{a \cdot b}$: geometrisches Mittel

x 2: Wiedergabe durch Bandspeicher bei doppelter Geschwindigkeit

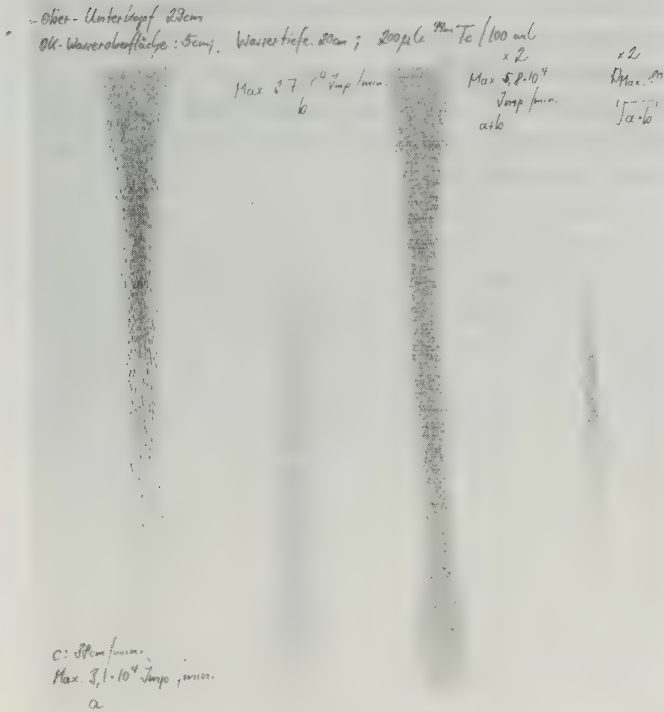


Abb. 3.2: Szintigramme einer schrägen Linien-
 quelle in Wasser; Kollimatorenabstand
 29 cm

3.3 Szintigramme bei Kollimatorenabstand 26 cm (s. Abb. 3.3)

Der Abstand von 26 cm bedeutet gleiche Fokus-
ebene für Ober- und Unterkopf.

Szintigramm $a+b$: Die beiden Einzelbilder addieren
sich zu einer homogenen Spindel, in deren Zentrum
das eingestellte Maximum rot erscheint.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$: Die Verdichtung im Zentrum
nimmt weiterhin zu, die Gesamtaussage bleibt
jedoch schlecht.

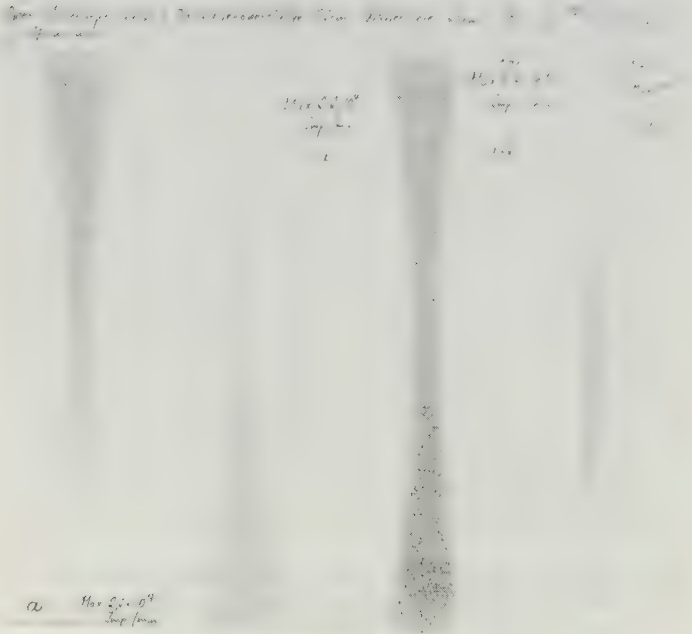


Abb. 3.3:

Szintigramme einer schrägen Linienquelle
in Wasser; Kollimatorenabstand 26 cm

3.4 Szintigramme bei Kollimatorenabstand 23 cm (s. Abb. 3.4)

Die beiden Fokusebenen wandern aneinander vorbei, so daß sich die Eindringtiefen um 3 cm überlappen. Da der Untertischmeßkopf nicht näher an die Tischplatte rücken konnte als bereits beim Abstand 26 cm, mußte der Oberkopf um 3 cm gesenkt werden. Dies war nur möglich bei der neuen Wasserhöhe 18 cm. Durch diese Versuchsanordnung bedingt, konnten nur noch der mittlere und untere Teil der Linienquelle szintigraphiert werden. Das interessierende Gebiet befindet sich innerhalb des szintigraphisch erfaßten Bezirks. Szintigramm a+b: Das Maximum im Zentrum ist intensiver dargestellt und umfaßt einen größeren Bezirk.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$: Erstmals erscheint auch beim geometrischen Mittel ein Maximum.

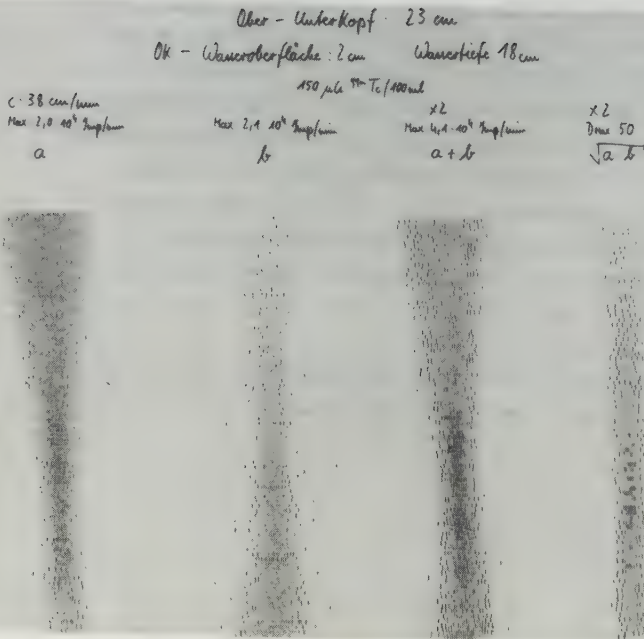


Abb. 3.4: Szintigramme einer schrägen Linien-
quelle in Wasser; Kollimatorenabstand
23 cm

3.5 Ergebnis

Die oben abgebildeten Szintigramm sind nicht gedacht für die exakte Auswertung hinsichtlich der Isoimpulslinien der Kollimatoren. Die Schrägstellung der Linienquelle im Wasser bedeutet für jeden ihrer Punkte unterschiedliche Absorptionsverhältnisse, so daß die gemessene Impulsrate eines Punktes der Linienquelle von zwei Variablen abhängt, nämlich seiner Entfernung vom Detektor und seiner Tiefenlage im absorbierenden Wasser.

Wohl aber kann mit dieser Versuchsanordnung eine Aussage darüber gemacht werden, wann ein absorbierender Körper in seiner gesamten Tiefe szintigraphisch mit gleicher Empfindlichkeit erfaßt wird.

Für den Kollimator Typ 5/TII läßt sich daher zusammenfassend sagen:

Nur bei Kollimatorenabständen kleiner als 29 cm ist die Erfassung eines 20 cm dicken, absorbierenden Körpers mit etwa gleicher Empfindlichkeit auch in seinen zentralen Teilen gewährleistet. Bei Kollimatorenabständen größer als 29 cm fällt die Empfindlichkeit in der Mitte schon deutlich ab, d. h. die Impulsaddition $a+b$ ergibt dann kein zusammenhängendes Bild der Aktivitätsverteilung mehr.

Um einen repräsentativen Wert für die Kollimatorenabstände im Routinebetrieb der Klinik zu erhalten, wurde bei 80 Patienten (Frauen und Männer) während der Szintigraphie des Körper-rumpfes der jeweils größte Kollimatorenabstand gemessen. Durchschnittlich betrug er 32 cm.

Für die nächsten Phantomuntersuchungen wurden deshalb die Kollimatorenabstände 26 cm (als erstrebenswerter theoretischer) und 32 cm (als in der Praxis häufiger) ausgewählt.

4 Theorie des geometrischen Mittels

Die geometrische Mittelbildung wurde von mehreren Autoren angegeben, um unabhängig von der Tiefenlage einer strahlenden Quelle mit gleichbleibender Empfindlichkeit szintigraphische Messungen durchführen zu können.

Kurz zur Theorie des geometrischen Mittels:

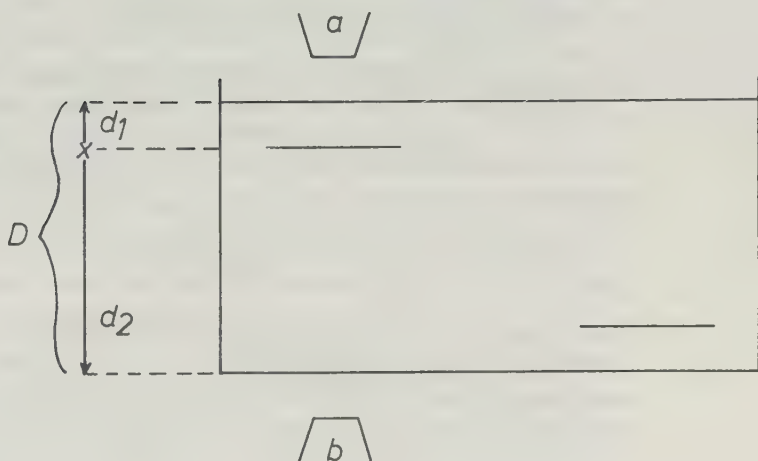


Abb. 4.1: Strahlende Flächenquelle in verschiedener Tiefenlage innerhalb eines aktivitätsfreien Körpers

a = die mit dem oberen Detektor gemessene Impulsrate

b = die mit dem unteren Detektor gemessene Impulsrate

Innerhalb eines homogenen, aktivitätsfreien Körpers befinde sich eine strahlende Flächenquelle. Für die theoretische Überlegung sei die Dicke Null angenommen. Die Gesamtdicke des absorbierenden Körpers ist D , der Abstand der Strahlenquelle zu seiner oberen Begrenzungsfläche d_1 , zur unteren d_2 ($d_1 + d_2 = D$). (s. Abb. S. 15) In Luft mißt man an der Strahlenquelle die Impulsrate c . Im absorbierenden Körper mißt der obere Detektor die Impulsrate a .

$$a = c \cdot e^{-\mu d_1}$$

Der untere Detektor mißt die Impulsrate b .

$$b = c \cdot e^{-\mu d_2}$$

Das geometrische Mittel der beiden Impulsraten ist $\sqrt{a \cdot b}$

$a = c \cdot e^{-\mu d_1}$ und $b = c \cdot e^{-\mu d_2}$ eingesetzt ergibt:

$$\begin{aligned}\sqrt{a \cdot b} &= \sqrt{c \cdot e^{-\mu d_1} \cdot c \cdot e^{-\mu d_2}} = \\ &= c \sqrt{e^{-\mu(d_1 + d_2)}} = c \sqrt{e^{-\mu D}}\end{aligned}$$

Das bedeutet, die durch das geometrische Mittel gewonnene Impulsrate hängt nur von D ab, nicht aber von d_1 und d_2 . Sie ist konstant für alle variablen Werte von d_1 und d_2 , solange $d_1 + d_2 = D$.

Das geometrische Mittel liefert also eine konstante Impulsrate für die Flächenquelle c , unabhängig davon, in welcher Tiefenlage sie sich innerhalb des Körpers der Dicke D befindet. Voraussetzung für diese Konstanz ist allerdings, daß die Aktivitätsquelle bei jedem Abstand mindestens gleich groß dem jeweiligen gemeinsamen Kollimatorsichtbereich ist, d. h. daß die Flächenquelle eine genügend große Ausdehnung besitzt (1; 5).

Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Empfindlichkeit eines kollimierten Detektors für eine homogene Flächenquelle, die sich parallel zur Kollimatoroberfläche befindet, unabhängig ist von der Entfernung zwischen Detektor und Quelle, solange die Quellenfläche größer ist als der Kollimatorsichtbereich und keine Schwächung, Durchdringung sowie Streuung der Gamma-Strahlung eintritt (Mayneord). Es nimmt zwar die Empfindlichkeit für jeden Punkt in der Aktivitätsfläche mit der Entfernung nach dem Quadratsabstandsgesetz ab, diese Abnahme wird aber kompensiert durch die gleichzeitige Flächenzunahme des Kollimatorsichtfeldes, die ebenfalls mit dem Quadrat der Entfernung erfolgt (der Detektor sieht bei wachsender Entfernung die einzelnen Punkte der Flächenquelle zwar schwächer, dafür aber "mehr").

Ist nun der Abstand erreicht in der die Quelle kleiner wird als das Kollimatorsichtfeld, die entfernungsbedingte Impulsratenabnahme also nicht mehr durch den Flächenzuwachs aufgehoben wird, ist die Empfindlichkeitskonstanz nicht mehr gegeben.

Die Empfindlichkeit ist auch dann nicht unabhängig von der Entfernung Detektor-Quelle, wenn sich ein absorbierendes Medium dazwischen befindet. Die geometrischen Verhältnisse bleiben zwar unbeeinflusst, die nach dem Schwächungsgesetz exponentiell mit der Entfernung erfolgende Abnahme der Impulsrate wird aber nicht mehr aufgehoben. Bei einem Doppeldetektorsystem hingegen ist die Möglichkeit zur Kompensation gegeben. Entfernen der Quelle von einem Detektor bedeutet ja gleichzeitiges Annähern an den anderen. Dem exponentiellen Abfall der Impulsrate am

oberen Detektor steht eine ebensolche Zunahme am unteren Detektor entgegen. Ist zugleich die geometrische Bedingung erfüllt (Quelle nicht kleiner als der gemeinsame Kollimatorensichtbereich), so liefert das geometrische Mittel eine konstante Impulsausbeute bei allen möglichen Tiefenlagen der Quelle.

Alle Meßanordnungen, die zu einem Mißverhältnis zwischen Quellengröße und Kollimatorensichtbereich führen, sei es durch sehr kleine Quellen oder durch große Sichtbereiche, wie man sie bei weiten Kollimatorenabständen findet, bedeuten schlechte Voraussetzungen für die Anwendung des geometrischen Mittels.

Um Genaueres über die Grenzen der Anwendbarkeit des geometrischen Mittels in Erfahrung zu bringen und die bisherigen theoretischen Erkenntnisse in der Praxis zu überprüfen, wurden mehrere Versuche mit einem selbstgefertigten Plexiglasphantom durchgeführt.

Das Phantom ist in Abb. 4.2 wiedergegeben.

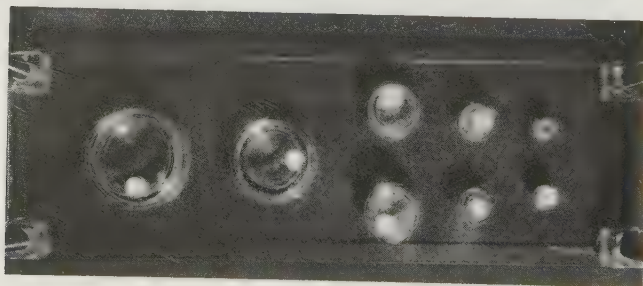


Abb. 4.2: Verwendetes Plexiglasphantom
(Aufsicht)

Tabelle 1: Größe der 8 Zylinder

Durchmesser (cm)	4	3	2	2	1	1	0,5	0,5
Höhe (cm)	4	3	4	2	2	1	1	0,5

Die Stützplatte des Phantoms mißt 34,5 x 11 cm und trägt 8 Zylinder von 0,5 cm bis 4 cm Durchmesser, sowie einer Höhe von 0,5 bis 4 cm. Die Mitte der Zylinderhöhe befindet sich jeweils in der Mittelebene der 5 mm dicken Stützplatte. Die Deckplatten der einzelnen Zylinder besitzen kleine Bohrungen zum Füllen, bzw. Ausleeren, die durch Plastikschrauben wasserdicht abschließbar sind. An den vier Ecken der Stützplatte befinden sich Bohrungen für vier jeweils 20 cm hohe Schraubenfüße. Damit ist die Höhe stufenlos verstellbar.

5 Messung der Impulsraten von heißen Herden in
Abhängigkeit von der Tiefenlage in einem 20 cm
tiefen Wasserbehälter

5.1.1 Versuchsaufbau

Der jeweils interessierende Zylinder des Phantoms wurde mit ^{99m}Tc -Lösung gefüllt und das Phantom in den symmetrisch zwischen Ober- und Untertischmeßkopf angeordneten Wasserbehälter gestellt. In der Versuchsausgangsposition lagen die beiden größten Zylinder dem Boden des Wasserbehälters auf, d. h. die Phantommitte befand sich 2 cm über dem Boden. Alle Maße beziehen sich im folgenden auf die Phantommitte.

5.1.2 Durchführung

Die beiden genau übereinander liegenden Detektoren wurden auf den gewünschten gegenseitigen Abstand eingestellt, der heiße Herd in die Mitte des Kollimatorsichtbereichs geschoben und die Schraubenfüße in dieser Stellung fixiert, um ein Verrutschen des Phantoms während der Höhenverstellung zu verhindern.

Durch Drehen an den Schraubenfüßen wurde das Phantom in 1 cm - Intervallen vom Wannenboden zur Wasseroberfläche hin bewegt. Bei jedem 1 cm - Höhenschritt wurde die Impulsrate am Ober- und Untertischmeßkopf gemessen und aufgezeichnet. Die zu den einzelnen Meßpunkten gehörenden Werte des arithmetischen und geometrischen Mittels sowie der Impulssumme wurden mit dem Rechenschieber errechnet. Insgesamt wurden die Messungen mit den Zylindern der Größe 4 cm Durchmesser und 4 cm Höhe sowie 2 cm Durchmesser,

2 cm Höhe, bei den Kollimatorenabständen 26 cm und 32 cm durchgeführt.

Durch Aufzeichnen der Impulsraten in Abhängigkeit vom Abstand zu den Kollimatoren erhält man die folgenden vier Diagramme.

- 5.2 Impulsraten des Zylinders mit 4 cm Durchmesser, 4 cm Höhe bei dem Abstand Ober-Unterkopf 26 cm (s. Abb. 5.2) (Füllung mit ^{99m}Tc -Lösung der Konzentration $300 \mu\text{Ci}/100 \text{ ml}$)

Durch die Versuchsanordnung bedingt, konnte der Zylinder nach oben bis zur Wasseroberfläche hin bewegt werden, d. h. beim Abstand 3 cm schließt

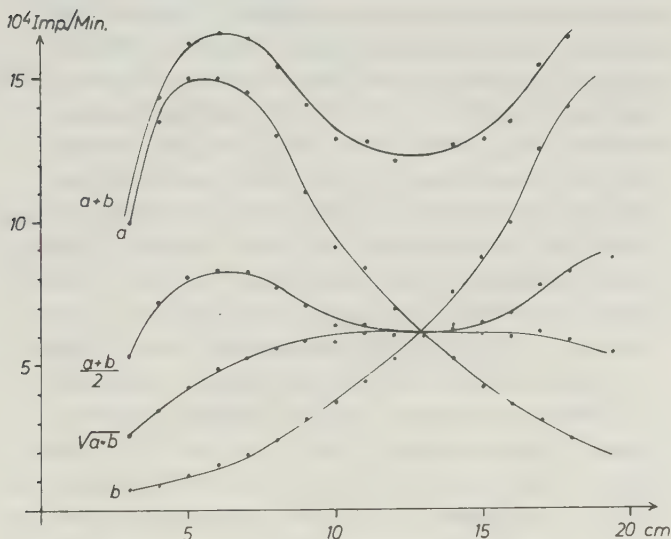


Abb. 5.2:

Mit Doppelkopf (a und b) - Scanner gemessene Impulsraten eines heißen Herdes von 4 cm Durchmesser und 4 cm Höhe in Abhängigkeit von der Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter
Abstand OK - UK: 26 cm

die Oberfläche des Zylinders gerade mit dem Wasser ab. Die Annäherung an den Unterkopf betrug maximal 6,5 cm (UK $\rightarrow$ Zylindermitte).

Der symmetrische Bereich liegt also zwischen den Meßpunkten 6,5 cm - 19,5 cm. Die Messungen wurden aber trotzdem so weit wie möglich nach oben durchgeführt, um nochmals die Bestätigung dafür zu erhalten, daß die Impulsrate bei maximaler Annäherung des Zylinders an den Detektor wieder abfällt.

Der Schnittpunkt aller Impulsratenkurven liegt aufgrund der symmetrischen Versuchsanordnung im gemeinsamen Fokus bei 13 cm.

Die beiden Einzelkurven von Ober (a)- bzw. Unterkopf (b) zeigen den bekannten, durch Kollision und Absorption bestimmten Verlauf. Der Ort des Impulsmaximums liegt nicht im Fokus, sondern ist wegen der Absorption zum Detektor hin verschoben. Die Kurve des arithmetischen Mittels zeigt daher mit wachsender Entfernung von der Fokusebene (13 cm) eine deutliche Anhebung der Impulsrate. Ein gleichsinniges Kurvenverhalten, nur eben bei doppelt so hoher Impulsrate, ergibt die Impulsaddition (a+b). In jedem Meßpunkt besitzt sie logischerweise von allen Kurven die höchste Impulsausbeute. Der Abstand zu den anderen Kurven ist im Fokus am größten. Die Kurve des geometrischen Mittels läßt in einem Abstandsbereich von ± 4 cm um die Fokusebene ziemlich konstante, daran anschließend stark abfallende Impulsraten erkennen. Außerdem liefert das geometrische Mittel insgesamt die geringste Impulsausbeute.

Werden die Abstände OK - Wasseroberfläche, bzw. UK - Tischplatte um jeweils 2 cm vergrößert,

so erhält man bei sonst identischer Anordnung den Kollimatorenabstand 32 cm. Die beiden Fokusebenen sind 4 cm voneinander entfernt.

Versuchsdurchführung wie oben;

- 5.3 Impulsraten des Zylinders mit 4 cm Durchmesser, 4 cm Höhe, gefüllt mit ^{99m}Tc -Lösung (Konz. 300 $\mu\text{Ci}/100\text{ ml}$)
Abstand Ober-Unterkopf 32 cm (s. Abb. 5.3)

Die Einzelkurven a und b verlaufen weiterhin gleichbleibend. Der Bereich der konstanten Impulsraten des geometrischen Mittels erstreckt sich von 14 cm - 18 cm, in den Randbezirken fallen die Impulsraten stark ab.

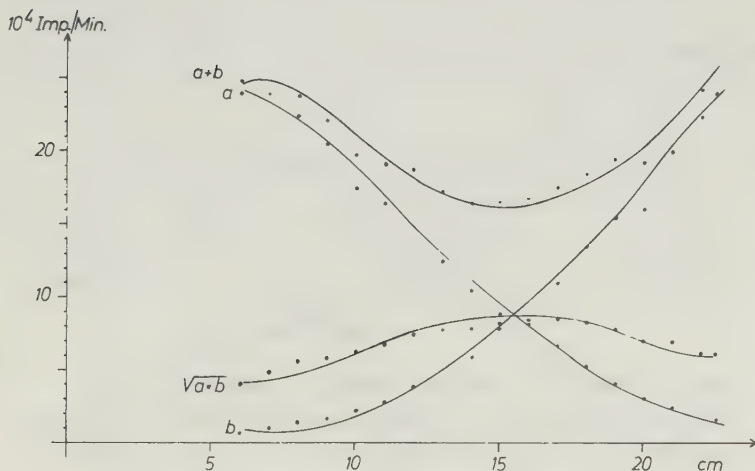


Abb. 5.3:

Mit Doppelkopf-Scanner (a und b) gemessene Impulsraten eines heißen Herdes von 4 cm Durchmesser und 4 cm Höhe in Abhängigkeit von der Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter; Abstand OK - UK: 32 cm

Als nächster heißer Herd wurde der Zylinder mit den Abmessungen 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe verwendet. Bei gleicher Versuchsanordnung und Durchführung wie oben wurde er mit ^{99m}Tc -Lösung der Konz. 300 $\mu\text{Ci}/100\text{ ml}$ gefüllt.

- 5.4 Impulsraten des Zylinders mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe
Abstand Ober-Unterkopf 26 cm (s. Abb. 5.4)

Das Impulsratenmaximum der Kurve a liegt bei 10 cm, das der Kurve b bei 16,5 cm. Bei weiterer Annäherung an die Detektoren sinkt die Impulsrate deutlich ab. (Die Quelle füllt das Kollimator-sichtfeld nicht mehr aus.) Das geometrische Mittel zeigt einen konstanten Kurvenverlauf im Bereich von 11 cm - 15 cm.

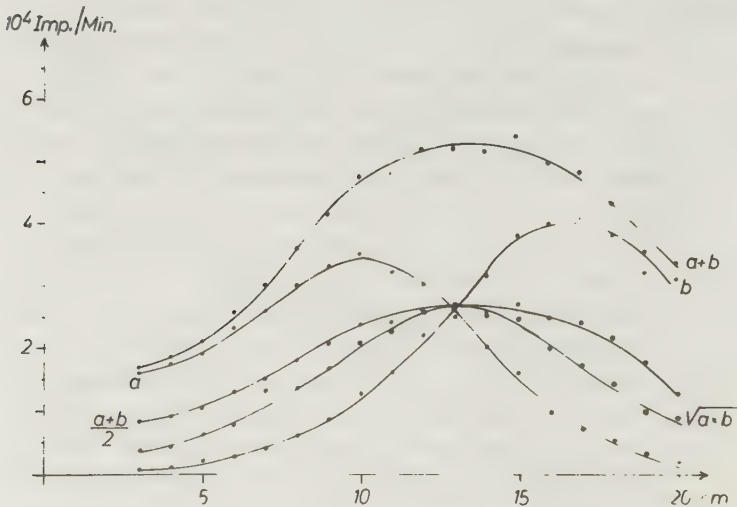


Abb. 5.4:

Mit Doppelkopf-Scanner (a und b) gemessene Impulsraten eines heißen Herdes von 2 cm Durchmesser und 2 cm Höhe in Abhängigkeit von der Tierenlage in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter
Abstand OK - UK: 26 cm

5.5 Impulsraten des Zylinders mit 2 cm Durchmesser,
2 cm Höhe
Abstand Ober-Unterkopf 32 cm (s. Abb. 5.5)

Die Kurve des geometrischen Mittels verläuft
beim Kollimatorenabstand 32 cm zwar über eine
lange Strecke horizontal, die Impulsausbeute
ist jedoch gering.

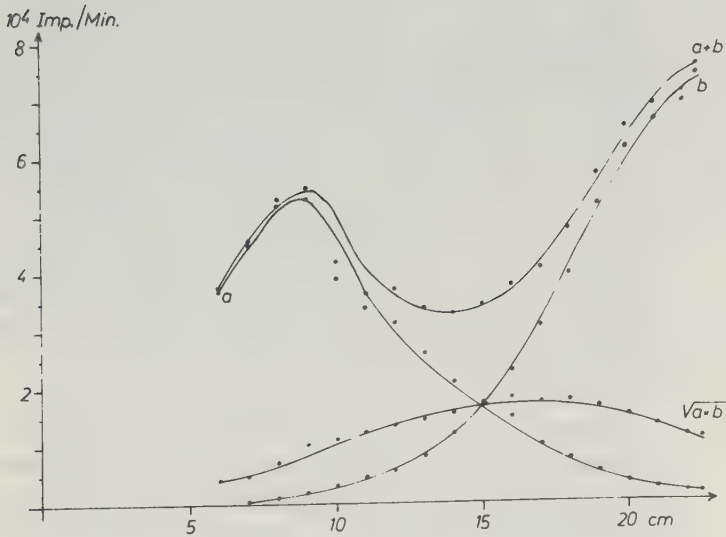


Abb. 5.5:

Mit Doppelkopf-Scanner (a und b) gemessene Impuls-
raten eines heißen Herdes von 2 cm Durchmesser
und 2 cm Höhe in Abhängigkeit von der Tiefenlage
in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter
Abstand OK - UK: 32 cm

5.6 Zusammenfassendes Ergebnis

Beim geometrischen Mittel sind Höhe der Impulsraten und deren Konstanz wesentlich abhängig

1. von der Quellengröße und
2. vom Kollimatorenabstand.

Bei kleinen Kollimatorenabständen und großen Herden erfolgt nach einem relativ ausgedehnten Plateau ein starker Abfall der Impulsraten des geometrischen Mittels (vgl. Abb. 5.2/4). Die Höhe der maximalen Impulsausbeute des geometrischen Mittels ist gleich dem Ordinatenwert des Schnittpunktes der Einzelkurven. Er ist umso tiefer, je größer der Kollimatorenabstand ist. Deshalb kommt es bei großen Kollimatorenabständen und kleinen Herden zwar zu einem weiträumigen Plateau bei der geometrischen Mittelbildung, die ganze Kurve liegt jedoch insgesamt bei sehr niedrigen Impulsraten (vgl. Abb. 5.5). Bei großen Herden ist die Kurve des geometrischen Mittels entsprechend dem Schnittpunkt nach oben verlagert.

Es gibt also zu jedem Punkt auf der Kurve des geometrischen Mittels einen Punkt auf einer der beiden Einzelkurven, der eine wesentlich höhere Impulsrate aufweist (ausgenommen der Schnittpunkt). Die höchsten Impulsraten lassen sich naturgemäß mit der Summenbildung erzielen.

6 Detailerkennbarkeit von heißen Herden (ohne
und mit Untergrundstrahlung)

Im folgenden wurden die Auswirkungen der schlechten Impulsausbeute des geometrischen Mittels auf die Detailerkennbarkeit von heißen Herden untersucht. Entsprechend den obigen Messungen wurden vier typische Positionen des Phantoms ausgewählt und Farbstrichszintigramme geschrieben.

Die vier Positionen sind:

Kollimatorenabstand 26 cm: Phantom symmetrisch zu beiden Detektoren in der Fokusebene 13/13 cm; asymmetrisch 19/7 cm;

Kollimatorenabstand 32 cm: symmetrisch 16/16 cm; asymmetrisch 22/10 cm;

Die Wanne war weiterhin mit Wasser gefüllt, so daß sich ein 20 cm tiefes Absorptionsmedium ergab.

Die Zylinder des Phantoms wurden wieder mit ^{99m}Tc -Lösung gefüllt. Die Scangeschwindigkeit von 32 cm/min wurde gewählt, um einen geschwindigkeitsbedingten Zeilenversatz zu vermeiden. Die Einstellung der Fensterbreite für die 140 KeV - Strahlung des ^{99m}Tc betrug am Oberkopf 130 - 170 KeV und am Unterkopf 120 - 160 KeV. Auf diese Weise wurde eine gleiche Empfindlichkeit der beiden Meßköpfe erreicht, die während der Versuche konstant gehalten werden konnte.

Um praxisnahe Bedingungen zu erhalten, wurden auch jeweils Szintigramme bei 25 % und 45 % Untergrundstrahlung im umgebenden Wasservolumen angefertigt. Hierbei wurde vor dem Start des Szintigramms ca. 1 mCi ^{99m}Tc in die Wanne gegeben und durch Umrühren gleichmäßig verteilt. Zur Bestimmung der Höhe der Untergrundstrahlung mußte zuerst das Aktivitätsmaximum des Phantoms (Zylinder mit 4 cm Durchmesser und 4 cm Höhe)

zu 100 % gemessen werden und anschließend mit einem der beiden Detektoren über ein Gebiet ausschließlicher Untergrundstrahlung gefahren werden. So konnte die Untergrundstrahlung in Prozent des Maximums ermittelt werden. Dieser %-Wert der Untergrundstrahlung war somit abhängig von der Höhe des Maximums im Phantom. Nur bei symmetrischer Anordnung des Phantoms erhielt man für beide Detektoren ein etwa gleiches Maximum und folglich einen gleichen Wert für die Untergrundstrahlung. Bei asymmetrischer Anordnung, also bei ungleichen Impulsratenmaxima, ergaben sich auch unterschiedliche Werte für die anteilige Untergrundstrahlung bei den einzelnen Detektoren. Es erschien daher sinnvoll, die Untergrundstrahlung auch als Aktivitätskonzentration in der Wanne anzugeben.

Bei einer Wasserhöhe von 20 cm beträgt das Volumen der Wanne 40 l.

1 mCi ^{99m}Tc darin verteilt: $\frac{1\text{mCi}}{40\text{l}} = 2,5 \text{ } \mu\text{Ci}/100 \text{ ml}$
2 mCi entsprechend 5 $\mu\text{Ci}/100 \text{ ml}$

Die folgenden Abbildungen stellen eine kleine Auswahl der in den vier Positionen angefertigten Szintigramme dar. An ihnen sind die wesentlichen Meßergebnisse ersichtlich.

6.1 Position 1 : Symmetrische Anordnung

Der Abstand Ober-Unterkopf beträgt 26 cm (gleiche Fokusebene für beide Kollimatoren).

Das Phantom liegt symmetrisch zu Ober- und Unterkopf in der Fokusebene, also jeweils 13 cm vom oberen und unteren Kollimator entfernt. Die Wanne ist 20 cm hoch mit Wasser gefüllt; die Zylinder des Phantoms mit ^{99m}Tc -Lösung (Konz. 105 $\mu\text{Ci } ^{99m}\text{Tc}/100 \text{ ml}$).

6.1.1 Heiße Herde ohne Untergrundaktivität (s. Abb. 6.1.1)

Szintigramm a:

Der kleinste erkennbare Zylinder besitzt die Höhe 2 cm und den Durchmesser 1 cm. Er ist auf dem hier nicht abgebildeten Einzelszintigramm b ebenso dargestellt.

Die Wiedergabe der Bilder a+b, sowie $\sqrt{a \cdot b}$ erfolgte mittels Impulsbandspeicher durch den Szintigrammschreiber bei einer doppelt so hohen Geschwindigkeit als der ursprünglichen Scangeschwindigkeit ($c \times 2$). Ein Unterschied in der Bildwiedergabe besteht ferner darin, daß a+b analog, $\sqrt{a \cdot b}$ hingegen digital geschrieben wurde.

Szintigramm a+b:

Das Szintigramm ist etwa gleich den Einzelbildern. Die großen Herde stellen sich etwas intensiver dar, die kleinen Herde sind dennoch nicht besser zu erkennen.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$:

Das geometrische Mittel ($D_{\text{Max}} = 88$) läßt selbst den Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe nur noch schwach erkennen.

6.1.2 Mit Untergrundstrahlung (UG) (s. Abb. 6.1.2) (UG: 5 μCi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ /100 ml $\hat{=}$ 45 %)

Szintigramm b:

Im Unterschied zu dem obigen Einzelbild ist bei 45 % UG der Zylinder 1 cm Durchmesser, 2 cm Höhe nur noch fraglich erkennbar. Die Darstellung der übrigen Herde wird nicht wesentlich verändert.

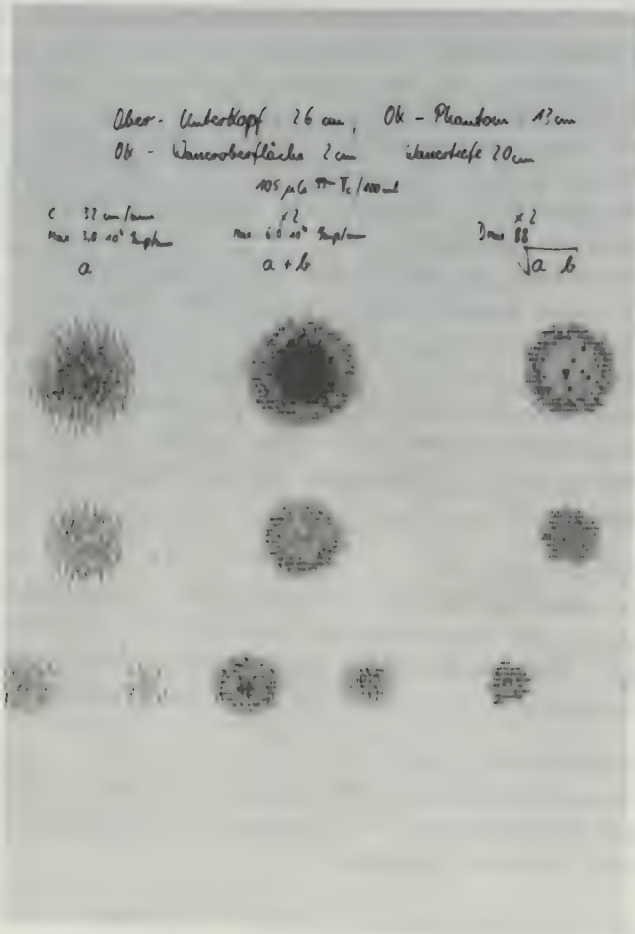


Abb. 6.1.1:

Szintigramme von heißen Herden eines Phantoms mit verschiedenen großen Zylindern (s. Abb. 2.1) ohne Untergrundstrahlung

a: Oberkopf

b: Unterkopf (nicht abgebildet, da identisch mit a)

a+b: arithmetisches Mittel

$\sqrt{a \cdot b}$: geometrisches Mittel

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 26 cm;

OK-Phantom: 13 cm

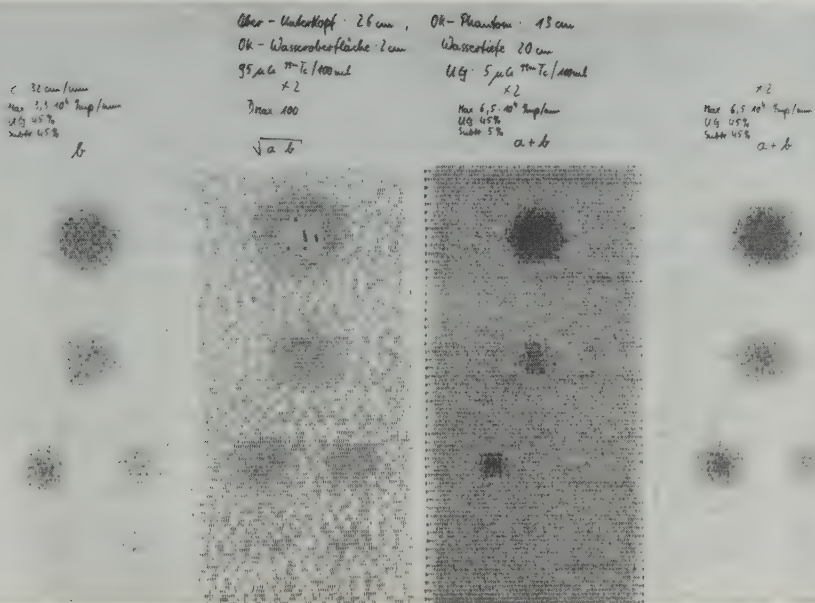


Abb. 6.1.2:

Szintigramme von heißen Herden mit Untergrundstrahlung

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 26 cm;

OK-Phantom: 13 cm;

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$:

Der Zylinder 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe wird mit UG besser dargestellt als ohne (Erklärung hierfür S. 59).

Szintigramm a+b: (Subtraktion 5 %)

Um die Effektivität der Untergrundsubtraktion zu prüfen, wurden mehrere Szintigramme ohne (5 %) und mit Subtraktion der Untergrundstrahlung geschrieben. Die Schwarzweißwiedergabe bei Subtr. 5 % ist in diesem Falle irreführend. Der Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe wird auf dem Originalszintigramm deutlich orangefarben dargestellt. Der Zylinder mit 1 cm Durchmesser, 2 cm Höhe hingegen ist nicht mehr auszumachen. Bei einer Untergrundsubtraktion von 45 % ist er fraglich erkennbar.

6.2 Position 2: Asymmetrische Anordnung

Ober-Unterkopf: 26 cm

OK-Phantom: 19 cm UK-Phantom: 7 cm

Das Phantom liegt bei dieser Versuchsanordnung dem Wannenboden auf, befindet sich also im unteren Randbezirk des gemeinsamen Kollimatorsichtfeldes. Die Wanne ist bis zur Höhe 20 cm mit Wasser gefüllt.

6.2.1 Ohne Untergrundstrahlung (s. Abb. 6.2.1)

Szintigramm a:

Die unscharfe Abbildung mit Verlust der Detailerkennbarkeit ist durch die große Absorptionsstrecke bzw. die Lage außerhalb des Fokus bedingt.

Szintigramm b:

Bis zu einer Größe von 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe sind die Herde gut erkennbar.

Ober. Unterkopf 26cm

OK-Phantom 19cm	UK-Phantom 7cm
5.5 μ Ci 99m Tc / 100ml	Scanzergeschwindigkeit 32
OK-Wasserscheitelhöhe 2cm	Wasserscheitelhöhe 20cm

$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$
Max. $4,6 \cdot 10^3$ Imp./min.	Max. $8,4 \cdot 10^4$ Imp./min.	Max. $8,6 \cdot 10^4$ Imp./min.	Max. $8,8$
a	b	$a+b$	$\frac{D_{Max}}{\sqrt{a \cdot b}}$

Abb. 6.2.1:

Szintigramme von heißen Herden ohne Untergrundstrahlung

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 26 cm;

OK-Phantom: 19 cm; UK-Phantom: 7 cm

Szintigramm a+b:

Das Bild ist dem besseren der beiden Einzelszintigramme mindestens gleichwertig.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$:

Es gelangen nur die beiden größten Zylinder ausreichend zur Darstellung, der Zylinder 2 cm Durchmesser, 4 cm Höhe recht undeutlich, der Zylinder mit 2 cm Durchmesser sowie 2 cm Höhe ist gänzlich verschwunden.

6.2.2 Mit Untergrundstrahlung

1,5 mCi ^{99m}Tc in 40 l Wasser homogen verteilt ($\cong 4 \mu\text{Ci}/100 \text{ ml}$), bedeuten für den oberen Detektor 75 % Untergrundstrahlung, für den unteren 25 %.

6.2.2.1 Ohne Untergrundsubtraktion (s. Abb. 6.2.2.1)

Szintigramm a bildet eine unregelmäßige, hauptsächlich rote Fläche ab; die beiden größten Herde sind erkennbar. Die Szintigramme b und a+b sind etwa gleichwertig (die orangefarbenen Herde in a+b sind auf dem Foto nicht zu sehen).

6.2.2.2 Mit Untergrundsubtraktion (s. Abb. 6.2.2.2)

Szintigramm b und a+b: Etwa gleich gut sind die Zylinder bis zur Größe 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe dargestellt.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$: Der in Abb. 6.2.1 nicht sichtbare Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe ist jetzt wieder erkennbar. Die übrigen Herde werden unscharf abgebildet.

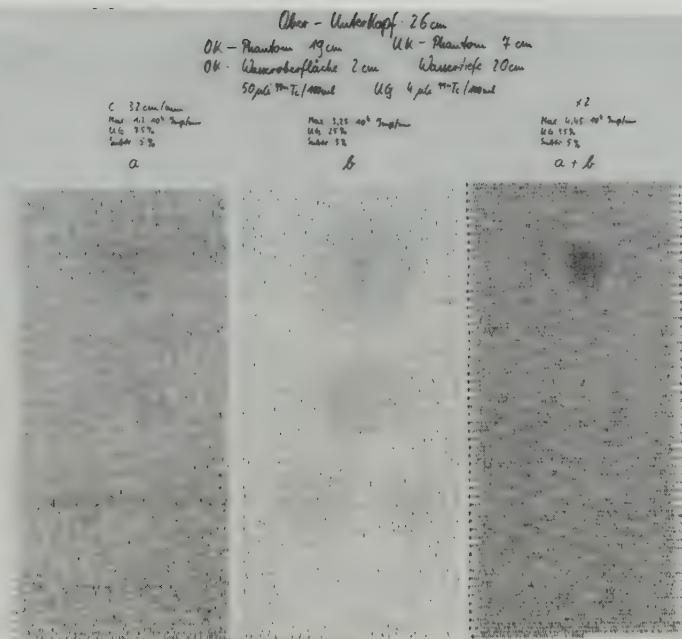


Abb. 6.2.2.1:

Szintigramme von heißen Herden mit UG; ohne
 Untergrundsubtraktion;
 Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 26 cm;
 OK-Phantom: 19 cm; UK-Phantom: 7 cm

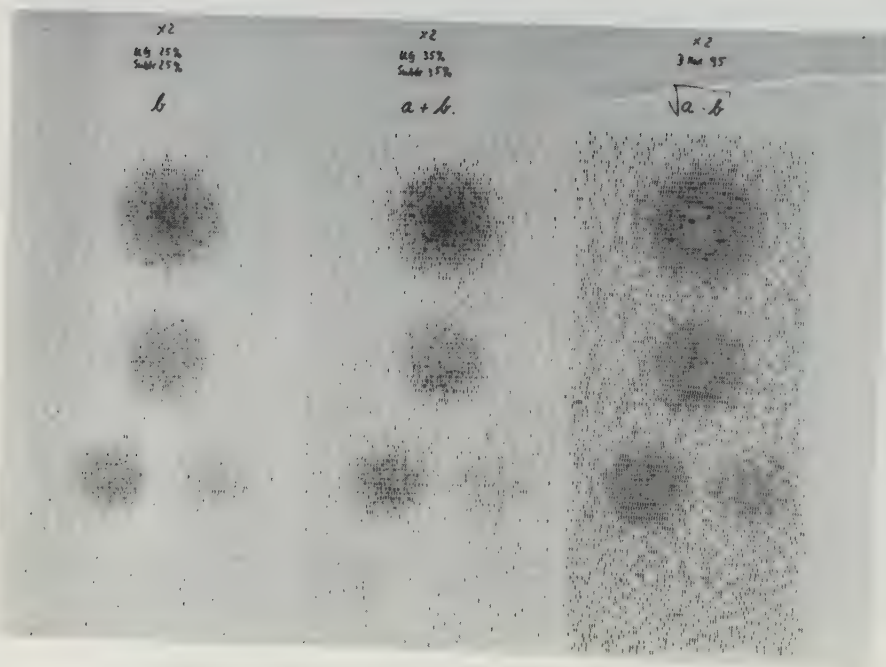


Abb. 6.2.2.2:

Scintigramme von heißen Herden mit Untergrund-
strahlung; mit Untergrundsubtraktion;
Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 26 cm;
OK-Phantom: 19 cm; UK-Phantom: 7 cm

6.3 Position 3: Symmetrische Anordnung

Ober-Unterkopf: 32 cm

OK-Phantom: 16 cm; UK-Phantom: 16 cm

(Abstand der beiden Fokusebenen: 6 cm)

6.3.1 Ohne Untergrundstrahlung (s. Abb. 6.3.1)

Szintigramme a und a+b: Gut werden die Zylinder bis zur Größe 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe abgebildet. Die Wiedergabe von a+b erscheint etwas kompakter als die des Einzelskans.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$: Der Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe ist nicht erkennbar. Die Wiedergabe in Form des geometrischen Mittels bringt eine Verschlechterung gegenüber a und a+b.

6.3.2 Mit Untergrundstrahlung

1 mCi $^{99m}\text{Tc}/40$ l Wasser = 2,5 $\mu\text{Ci } ^{99m}\text{Tc}/100$ ml $\hat{=}$
30 % UG

6.3.2.1 Ohne Untergrundsubtraktion (s. Abb. 6.3.2.1)

Szintigramme b und a+b: Die vier größeren Zylinder werden etwa gleichwertig dargestellt, die kleineren sind nicht erkennbar.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$: Bei Untergrundstrahlung wird auch im geometrischen Mittel der Zylinder von 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe wieder sichtbar. Die Darstellung ist etwa gleichwertig derjenigen in b und a+b.

6.3.2.2 Mit Untergrundsubtraktion (s. Abb. 6.3.2.2)

Szintigramme a+b und b: Die vier Herde kommen etwas deutlicher zum Vorschein. Die beiden Szintigramme sind von gleicher Bildqualität.

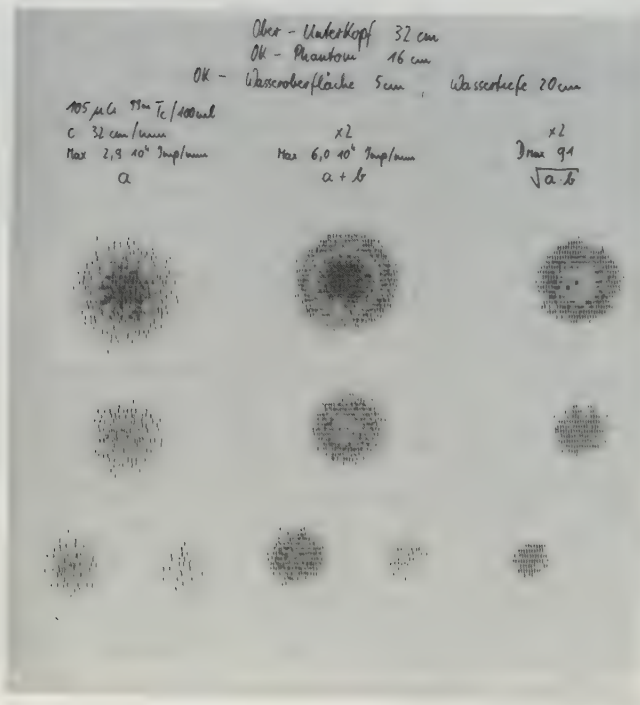


Abb. 6.3.1:

Szintigramme von heißen Herden ohne Untergrundstrahlung

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 32 cm;

OK-Phantom: 16 cm

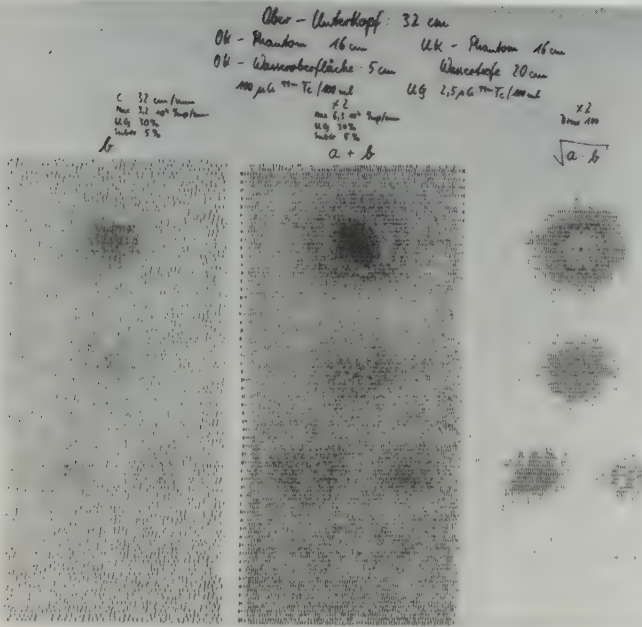


Abb. 6.3.2.1:

Szintigramme von heißen Herden mit Untergrundstrahlung; ohne Untergrundsubtraktion

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 32 cm;

OK-Phantom: 16 cm

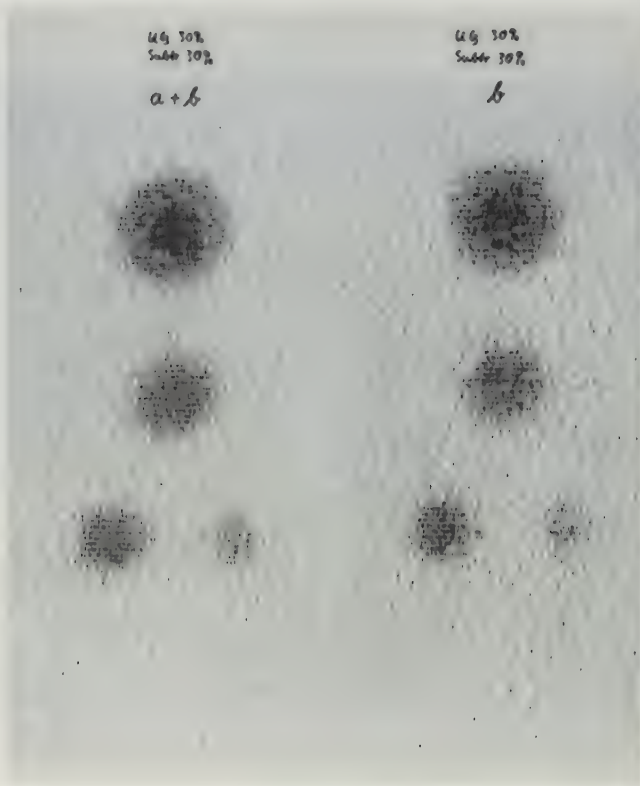


Abb. 6.3.2.2:

Szintigramme von heißen Herden mit Untergrundstrahlung; mit Untergrundsubtraktion

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 32 cm;

OK-Phantom: 16 cm

6.4 Position 4: Asymmetrische Anordnung

Ober-Unterkopf: 32 cm

OK-Phantom: 22 cm UK-Phantom: 10 cm

Wassertiefe 20 cm, das Phantom liegt dem
Wannenboden auf.

6.4.1 Ohne Untergrundstrahlung (s. Abb. 6.4.1)

Szintigramm a:

Wegen des großen Abstandes vom Detektor erscheinen selbst die großen Zylinder undeutlich.

Szintigramm b:

Gute Darstellung bis zur Zylindergröße 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe; angedeutet wird der Zylinder mit 1 cm Durchmesser, 2 cm Höhe (der Abstand UK-Phantom beträgt 10 cm, die Fokusebene ist nur 3 cm entfernt).

Szintigramm a+b:

Die Bildwiedergabe entspricht derjenigen von b.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$:

Der Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe wird nur andeutungsweise dargestellt, schlechte Auflösung auch bei den anderen Herden. Die geometrische Mittelbildung führt zu einer Verschlechterung der Darstellung.

Eine zusammenfassende Darstellung aller Szintigramme ohne und mit Untergrundstrahlung in den vier Positionen erfolgt später (S. 50 ff).

Ober - Unterkopf: 32 cm
 OK - Phantom: 22 cm UK - Phantom: 10 cm
 OK - Wasserzoofläche: 5 cm Wasserhöhe: 20 cm
 $60 \mu\text{Ci } ^{99m}\text{Tc} / 100 \text{ ml}$
 c 32 cm / max Max 2,2 10^4 Imp/kan a
 Max 3,2 10^4 Imp/kan b
 Max 1,4 10^4 Imp/kan a + b
 X2
 Dmax 90
 $\sqrt{a \cdot b}$

Abb. 6.4.1:

Scintigramme von heißen Herden ohne Untergrundstrahlung

Abstand Ober(a) - Unterkopf(b): 32 cm

OK-Phantom: 22 cm; UK-Phantom: 10 cm

7 Detailerkennbarkeit von kalten Herden

Dieselben vier Positionen und das gleiche Phantom dienten zur Untersuchung der Detailerkennbarkeit von kalten Herden in strahlender Umgebung.

Die Wanne wurde nun bis zur Höhe 18 cm mit Wasser gefüllt (36 l Volumen), anschließend durch Umrühren 4 mCi ^{99m}Tc homogen darin verteilt.

Die damit erhaltenen Impulsraten lagen im Durchschnitt bei $3,0 \cdot 10^4$ Imp/min, also durchaus in einem guten Arbeitsbereich. (Wegen des limitierenden D_{Max} -Wertes 100 konnte bei einer Scangeschwindigkeit von 32 cm/min keine größere Aktivitätsmenge verwendet werden.) Die Zylinder des Phantoms wurden mit Wasser gefüllt, verschlossen und in die ^{99m}Tc -Lösung getaucht. Das Impulsmaximum wurde für beide Detektoren getrennt über einem strahlenden Bezirk ohne Absorption durch das Phantom eingestellt.

7.1 Position 1: Symmetrische Anordnung (s. Abb. 7.1)

Der Abstand Ober-Unterkopf beträgt 26 cm, das Phantom liegt symmetrisch von beiden Kollimatoren 13 cm entfernt.

Scintigramme a, a+b, $\sqrt{a \cdot b}$:

Als kalte Herde sind die Zylinder des Phantoms bekanntermaßen wesentlich schlechter zu erkennen denn als heiße Herde. Man erhält etwa gleich schlechte Resultate auf allen drei Bildern. Am schlechtesten fällt a+b aus. Der letzte dargestellte Zylinder hat die Maße 2 cm Durchmesser, 4 cm Höhe, fraglich erkennbar ist der Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe.

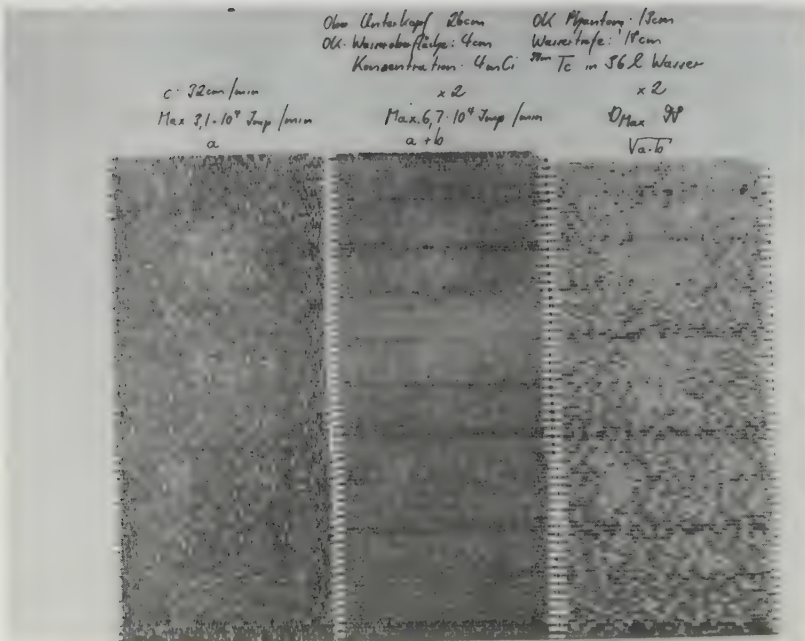


Abb. 7.1:

Szintigramme von kalten Herden in strahlender Umgebung

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 26 cm

OK-Phantom: 13 cm

7.2 Position 2: Asymmetrische Anordnung (s. Abb. 7.2)

Bei gleichem Kollimatorenabstand 26 cm liegt das wassergefüllte Phantom dem Wannenboden auf, der Abstand zum Oberkopf beträgt 19 cm, zum Unterkopf 7 cm.

Szintigramm a:

Der obere Detektor stellt nur noch eine homogene, rote Aktivitätsfläche ohne kalte Bezirke dar.

Szintigramme b und $\sqrt{a \cdot b}$:

Beide Szintigramme lassen den Zylinder der Größe 2 cm Durchmesser, 4 cm Höhe als letzten erkennen.

Szintigramm a+b:

Der Zylinder von 3 cm Durchmesser, 3 cm Höhe wird nur undeutlich dargestellt.

7.3 Position 3: Symmetrische Anordnung (s. Abb. 7.3)

Abstand Ober-Unterkopf: 32 cm

Das Phantom liegt in der Mitte, von Ober- und Unterkopf jeweils 16 cm entfernt.

Szintigramme a und a+b:

Einigermaßen sicher sind nur die beiden größten Herde auszumachen, fraglich der Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 4 cm Höhe.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$:

Kleinster noch erkennbarer kalter Bezirk ist der Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 4 cm Höhe.

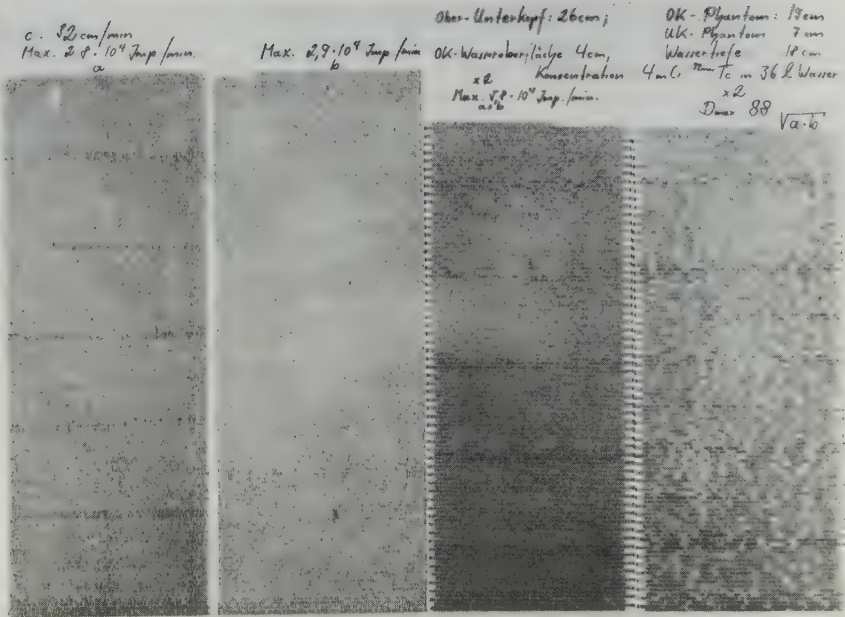


Abb. 7.2:

Szintigramme von kalten Herden in strahlender Umgebung

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 26 cm

OK-Phantom: 19 cm; UK-Phantom 7 cm

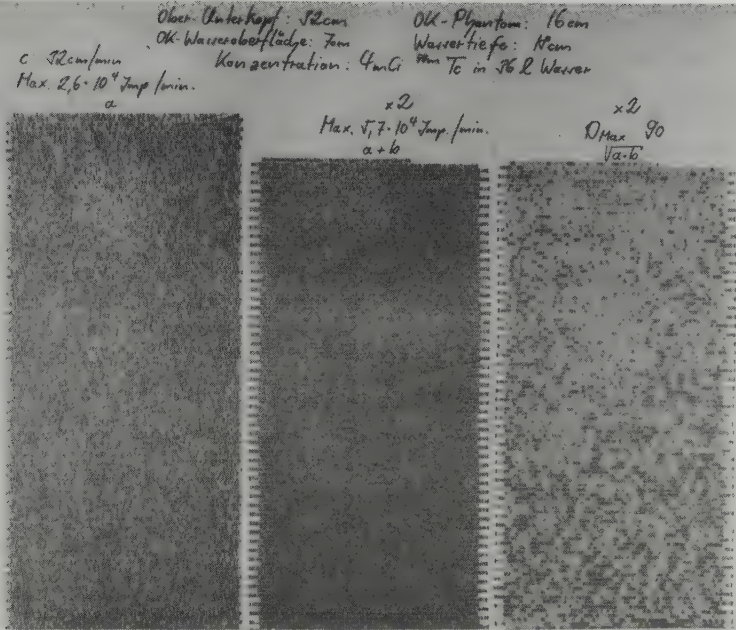


Abb. 7.3:

Szintigramme von kalten Herden in strahlender Umgebung

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 32 cm

OK-Phantom: 16 cm

7.4 Position 4: Asymmetrische Anordnung (s. Abb. 7.4)

Abstand Ober-Unterkopf: 32 cm

Das Phantom ist vom oberen Kollimator 22 cm,
vom unteren 10 cm entfernt.

Szintigramm a:

Abgebildet wird eine homogen rote Fläche, Herde
sind nicht erkennbar.

Szintigramm b:

Wegen des günstigen Abstandes von 10 cm zeigt
der untere Detektor als kleinsten Bezirk den
Zylinder mit 2 cm Durchmesser und 2 cm Höhe.

Szintigramm a+b:

Dieser Zylinder ist auf dem Bild nicht sicher
auszumachen.

Szintigramm $\sqrt{a \cdot b}$:

Ebenso nicht beim geometrischen Mittel; allerdings werden die größeren Herde deutlicher abgebildet als z. B. auf dem Bild von a+b, so daß eine geringe Bildverbesserung gegeben ist.

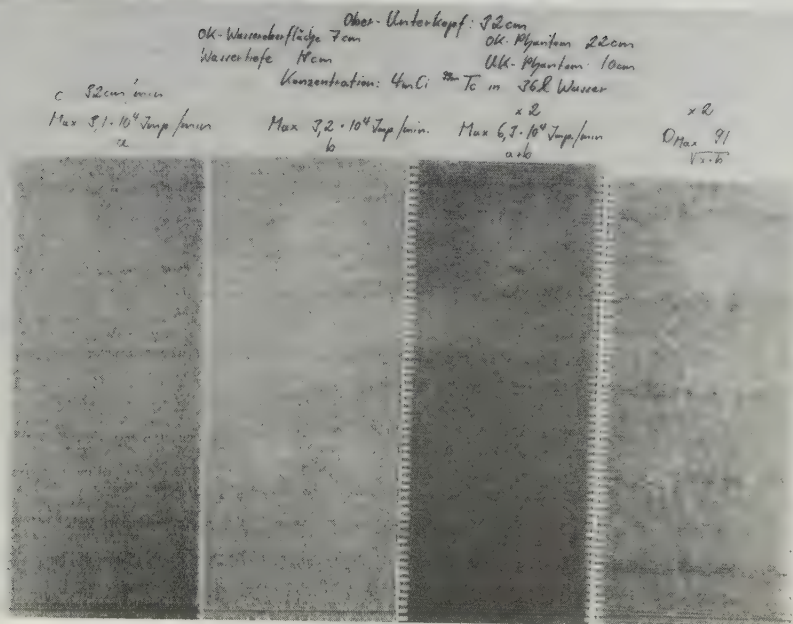


Abb. 7.4:

Szintigramme von kalten Herden in strahlender Umgebung

Abstand Ober(a)- Unterkopf(b): 32 cm

OK-Phantom: 22 cm; UK-Phantom: 10 cm

8 Zusammenfassende Übersicht der szintigraphischen
Erkennbarkeit von heißen Herden ohne und mit
Untergrundstrahlung

In den folgenden Tabellen sind auch alle Ergebnisse der nicht bereits oben abgebildeten Szintigramme aufgeführt. Die Wertung der Herddarstellung wurde nach folgenden Kriterien getroffen:

- +++ = Herd form- und größengetreu ($\pm 0,5$ cm)
- ++ = Herdform abgrenzbar, Größe aufgrund der
Randunschärfe nicht exakt bestimmbar
- + = Herd nicht form- und größengetreu
- (+) = Herd fraglich erkennbar

8.1 Position 1 (Kollimatorenabstand 26 cm,
symmetrische Anordnung 13/13 cm)

Tab. 2 (s. Abb. 8.1)

Die Einzelszintigramme, sowie a+b lassen heiße Herde ohne Untergrundstrahlung bis herab zu einer Größe von 1 cm Durchmesser und 2 cm Höhe erkennen. Kleinere Herde sind nicht mehr sichtbar und daher in der Tabelle nicht aufgeführt.

Bei gleicher Detailerkennbarkeit wie die Einzelszintigramme liefert a+b eine geringfügig stärkere Farbintensität der Wiedergabe aufgrund der höheren Impulsraten.

Das geometrische Mittel stellt nur den größten Herd mit vergleichbarer Deutlichkeit dar. Alle anderen Zylinder sind von schlechterer Bildqualität. Der Zylinder mit 1 cm Durchmesser sowie 2 cm Höhe, auf den Einzelscans und a+b noch erkennbar, verschwindet beim geometrischen Mittel.

POSITION 1 Kollimatorabstand: 26 cm symmetrische Anordnung (13/13 cm)												
Herden- größe I II	ohne Untergrund				25 % Untergrund				45 % Untergrund			
	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$
	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++
	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++
	++	++	++	-	++	++	++	++	++	++	++	++
	+	+	+	-	+	+	(+)	-	(+)	(+)	(+)	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Abb. 8.1 Tab. 2 Position 1:

Vergleich der Erkennbarkeit von heißen Herden beim Einzelszintigramm des Ober(a)- und Unterschmeßkopfes (b), des arithmetischen (a+b) und des geometrischen ($\sqrt{a \cdot b}$) Mittels ohne und mit Untergrundstrahlung

Die Verhältnisse verschieben sich auch mit Untergrundstrahlung nicht sonderlich. Lediglich der Zylinder von 1 cm Durchmesser und 2 cm Höhe ist bei 45 % Untergrundstrahlung auch auf den Einzelskans nur noch zu ahnen. Mit zunehmender Untergrundaktivität scheint die Darstellung durch das geometrische Mittel etwas verbessert zu werden, der Zylinder mit 1 cm Durchmesser, 2 cm Höhe ist jedoch nicht erkennbar.

8.2 Position 2 (Kollimatorenabstand 26 cm;
asymmetrische Anordnung 19/7 cm)

Tab. 3 (s. Abb. 8.2)

Bei der asymmetrischen Anordnung liefert der obere Detektor a wegen der größeren Absorptionsstrecke zwischen Strahlenquelle und Detektor wesentlich schlechtere Bilder als der untere. 2,5 mCi ^{99m}Tc als Untergrundstrahlung bedeuten 90 % UG für a, und lassen selbst den größten Zylinder 4 cm Durchmesser, 4 cm Höhe in der gleichmäßig roten Fläche untergehen.

Demgegenüber geben b und a+b gleichwertige, gute Darstellungen der Herde bis zur Größe von 2 cm Durchmesser und 2 cm Höhe.

Bei höherer Untergrundstrahlung erscheint dieser Zylinder auch auf dem Bild von $\sqrt{a \cdot b}$. Ohne UG ist er beim geometrischen Mittel nicht zu sehen.

8.3 Position 3 (Kollimatorenabstand 32 cm;
symmetrische Anordnung 16/16 cm)

Tab. 4 (s. Abb. 8.3.1)

a, b sowie a+b stellen die Zylinder bis zur Größe 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe etwa gleichwertig dar. Der Herd mit 2 cm Durchmesser, 1 cm Höhe wird bei a angedeutet.

POSITION 2 Kollimatorabstand: 26 cm unsymmetrische Anordnung (1% / π - π)												
Herd- größe (: π)	ohne Untergrund				1,5 mCi Untergrund				2,5 mCi Untergrund			
	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	75% a	25% b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	90% a	50% b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$
	++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++	(+)	---	---	---
	+	+++	+++	++	(+)	+++	+++	++	-	++	--	--
	+	++	++	+	-	++	++	++	-	+	+	+
	(+)	+	+	-	-	+	+	+	-	+	(+)	+
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Abb. 8.2 Tab. 3 Position 2:

Vergleich der Erkennbarkeit von heißen Herden beim Einzelszintigramm des Ober(a)- und Unter-tischmeßkopfes (b), des arithmetischen (a+b) und des geometrischen ($\sqrt{a \cdot b}$) Mittels ohne und mit Untergrundstrahlung

POSITION 3 Kollimatorabstand: 32 cm symmetrische Anordnung (15/16 cm)												
Herdgröße (cm)	ohne Untergrund				30 % Untergrund				50 % Untergrund			
	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$
	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++
	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++
	++	++	++	-	++	++	++	-	+	+	+	(+)
	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Abb. 8.3.1 Tab. 4 Position 3:

Vergleich der Erkennbarkeit von heißen Herden beim Einzelszintigramm des Ober(a)- und Unter-tischmeßkopfes (b), des arithmetischen (a+b) und des geometrischen ($\sqrt{a \cdot b}$) Mittels ohne und mit Untergrundstrahlung

Auf dem Bild des geometrischen Mittels ist bereits der Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe nicht mehr zu sehen, die größeren Herde werden schlechter als bei den Einzelskans wiedergegeben. Die Szintigraphie mit 1 mCi, bzw. 2 mCi ^{99m}Tc Untergrundaktivität zeitigt keine wesentlichen Änderungen bis auf das Sichtbarwerden des Zylinders mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe durch die geometrische Mittelbildung (s. Abb. 8.3.2).

8.4 Position 4 (Kollimatorenabstand 32 cm; asymmetrische Anordnung 22/10 cm)

Tab. 5 (s. Abb. 8.4)

Analog zu Position 2 erhält man mit dem oberen Detektor, bedingt durch Absorption, Streuung und Defokussierung, nur noch undeutliche Abbildungen. Bei 2 mCi Untergrundaktivität ist selbst der größte Zylinder mit 4 cm Durchmesser, 4 cm Höhe nicht mehr sicher von der Umgebung abzugrenzen.

Wegen des günstigen Abstandes von 10 cm zum Unterkopf stellen b und a+b sogar den Zylinder der Größe 2 cm Durchmesser, 1 cm Höhe noch dar. (In der Position 2 ist das Phantom 3 cm weiter von der Fokusebene entfernt, der Zylinder ist deshalb dort nicht zu sehen.) Mit zunehmender Untergrundstrahlung hebt er sich jedoch nicht von der Umgebung ab.

$\sqrt{a \cdot b}$ liefert stets schlechtere Bilder als b und a+b.

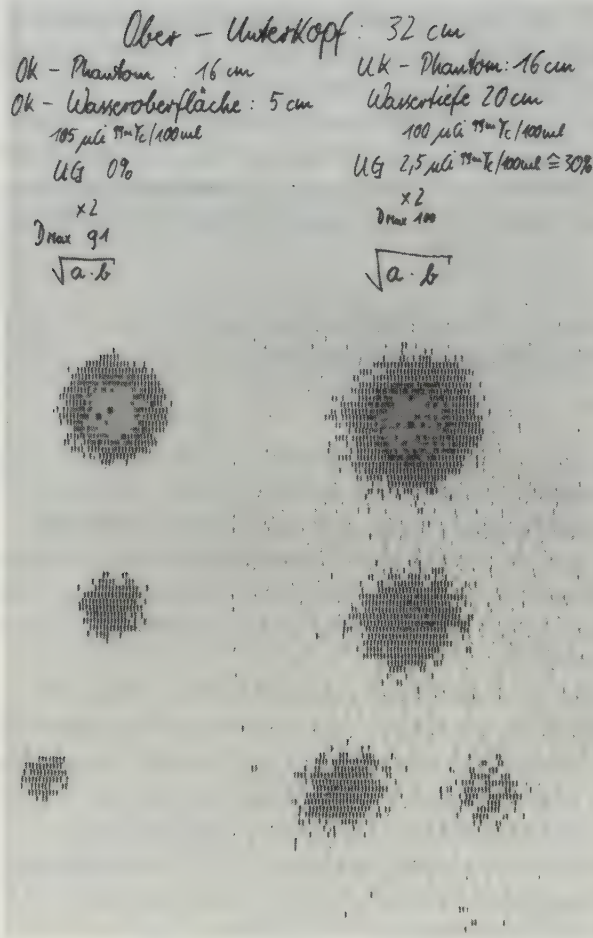


Abb. 8.3.2:

Sichtbarwerden eines zuvor verschwundenen Herdes bei Untergrundstrahlung auf den Bildern des geometrischen Mittels

Tab. IT. 4. Erkennbarkeit von heißen Asymmetrische Anordnungen (2. Teil)												
Herzgröße T	ohne Untergrund				1 mCi Untergrund				2 mCi Untergrund			
	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	80% a	20% b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	50% a	50% b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$
	++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++
	+	+++	+++	++	-	+++	+++	+++	-	+++	+++	++
	+	+++	+++	++	-	++	+++	++	-	+++	+++	++
	-	++	++	+	-	+	+	-	-	-	-	-
	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Abb. 8.4 Tab. 5 Position 4:

Vergleich der Erkennbarkeit von heißen Herden beim Einzelszintigramm des Ober(a)- und Unter-tischmeßkopfes (b), des arithmetischen (a+b) und des geometrischen ($\sqrt{a \cdot b}$) Mittels ohne und mit Untergrundstrahlung

8.5 Ergebnisse

Einzeloszintigramme:

Heiße Herde sind bis zu einer Größe von 1 cm Durchmesser und 2 cm Höhe sicher erkennbar, unabhängig von symmetrischer und unsymmetrischer Lage, unter der Bedingung, daß sie nahe einer Fokusebene liegen. Größen- und formgetreu werden nur Herde ab einer Größe von 2 cm Durchmesser und 4 cm Höhe abgebildet, wenn sie nahe der Fokusebene liegen.

Mit steigender Untergrundstrahlung bis 45 % des Maximums sind Herde von 1 cm Durchmesser und 2 cm Höhe trotz Untergrundsubtraktion nicht mehr auszumachen.

Arithmetisches Mittel (gleichbedeutend mit der Impulsaddition):

Bei symmetrischer Anordnung ohne Untergrundstrahlung werden heiße Herde mit höherer Impulsrate dargestellt als bei den Einzeloszintigrammen. Mit Untergrundstrahlung nivelliert sich die Aussage, vollends bei asymmetrischen Anordnungen mit Untergrund, wenn der schlechte Informationsanteil des einen Detektors bei der gemeinsamen Impulswertverarbeitung die gute Information des andern immer stärker beeinträchtigt.

Geometrisches Mittel:

Bei heißen Herden ist die Wiedergabe in der Regel schlechter als bei dem besseren der Einzeloszintigramme, so daß nur der große Zylinder von 4 cm Durchmesser und Höhe größen- und formgetreu wiedergegeben wird. Kleinere Herde, die auf den Einzeloszintigrammen noch gut zur Darstellung gelangen, verschwinden auf den Bildern des

geometrischen Mittels entweder ganz oder werden nur undeutlich abgebildet. Mit Untergrundstrahlung werden diese heißen Herde in Bereiche höherer Impulsraten "gehoben", so daß sie jetzt in der digitalen Verarbeitung sichtbar werden.

Erklären könnte man sich diesen Sachverhalt damit, daß bei digitaler Verarbeitung offenbar automatisch durch den Rechner eine Untergrundsubtraktion von einigen Prozent erfolgt. Kleine Herde, deren Impulsraten unter dieser Prozentzahl liegen, fielen somit unter die Subtraktion und würden nicht abgebildet. Mit entsprechend hoher Untergrundstrahlung könnten dieselben kleinen Herde über diese Grenze gelangen und folglich dargestellt werden.

Genauere technische Angaben bezüglich des Rechners lagen hierzu allerdings nicht vor.

9 Zusammenfassende Übersicht der szintigraphischen Erkennbarkeit von kalten Herden in strahlender Umgebung

9.1 Position 1 und 2

Tab. 6 (s. Abb. 9.1)

Liegt das Phantom in der Fokusebene, so werden kalte Herde bis herab zu einer Größe von 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe abgebildet. Bei einer Defokussierung von 6 cm (Position 2) gelangen nur noch Herde der Größe 2 cm Durchmesser, 4 cm Höhe auf den besseren Szintigrammen zur Darstellung (b und $\sqrt{a \cdot b}$).

9.2 Position 3 und 4

Tab. 7 (s. Abb. 9.2.1)

Eine sehr schlechte Detailerkennbarkeit herrscht auf den Bildern in Position 3 wegen des großen Kollimatorenabstandes und der Defokussierung um 3 cm (das Phantom liegt 3 cm distal von jeder Fokusebene).

Eine wesentlich bessere Detailerkennbarkeit ergibt b bei asymmetrischer Lage (das Phantom liegt 3 cm proximal von der unteren Fokusebene). Kalte Herde sind bis zu einer Größe von 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe auszumachen.

Das verhältnismäßig günstige Abschneiden des geometrischen Mittels bei der Szintigraphie kalter Herde beruht auf der digitalen Impulswertverarbeitung und ihrer Wiedergabe.

Zur Veranschaulichung des Unterschiedes von analoger und digitaler Bildwiedergabe wurde das Phantom in optimaler Lage zum oberen Detektor

POSITION 1				POSITION 2			
symmetr. Anordnung (12/12 cm)				unsymmetr. Anordnung (19/12 cm)			
Herden- größe (cm)	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	a	b	$\sqrt{a \cdot b}$
	++	++	++	++	-	++	++
	+	+	+	-	-	+	(+)
	+	+	+	+	-	+	(+)
	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-

Abb. 9.1 Tab. 6 Position 1 und 2:

Vergleich der Erkennbarkeit von kalten Herden beim Einzelszintigramm des Ober(a)- und Untertischmeßkopfes (b), des arithmetischen (a+b) und des geometrischen ($\sqrt{a \cdot b}$) Mittels

POSITION 3 Kollimatorabstand: 32 cm					POSITION 4			
symmetr. Anordnung (16/16cm)					unsymmetr. Anordnung (22/10cm)			
Herd- größe (cm)	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$	a	b	a+b	$\sqrt{a \cdot b}$
	+	+	+	++	-	++	++	..
	+	+	+	+	-	++	+	+
	(+)	(+)	(+)	+	-	++	(+)	+
	-	-	-	-	-	+	(+)	(+)
	-	-	-	-	-	-	-	-

Abb. 9.2.1 Tab. 7 Position 3 und 4:

Vergleich der Erkennbarkeit von kalten Herden
beim Einzelszintigramm des Ober(a)- und Unter-
tischmeßkopfes (b), des arithmetischen (a+b)
und des geometrischen ($\sqrt{a \cdot b}$) Mittels

szintigraphiert, (Phantom in der Fokusebene gelegen, direkt mit der Wasseroberfläche abschließend) die Impulse auf Band gespeichert, sodann analog und digital ausgedruckt (s. Abb. 9.2.2).

Obwohl der Informationsgehalt beider Szintigramme gleich ist, erscheint die digitale Wiedergabe deutlicher als die analoge.

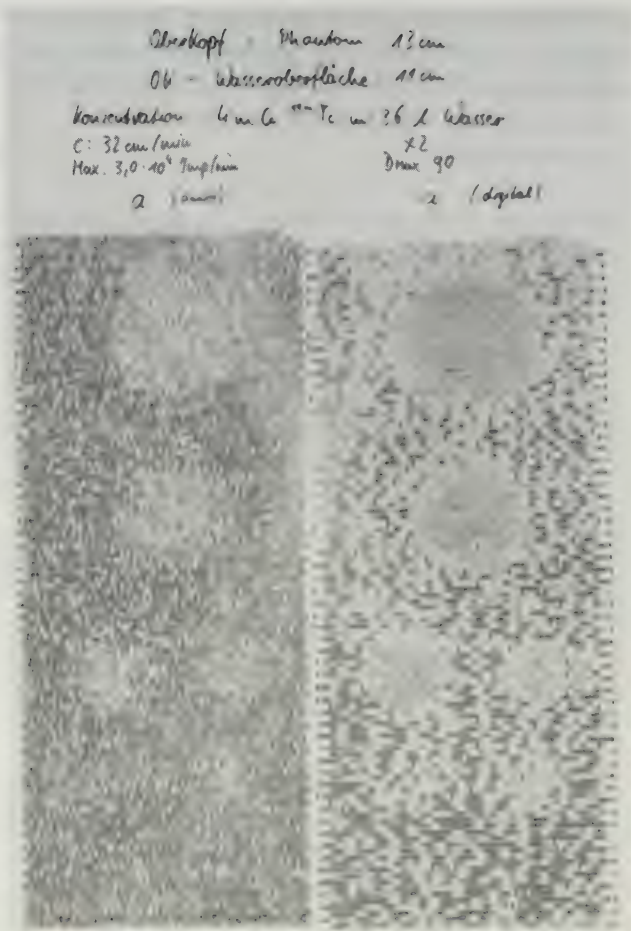


Abb. 9.2.2:

Unterschied von analoger und digitaler Bild-
wiedergabe bei kalten Herden

9.3 Ergebnisse

Einzel-szintigramme:

Kalte Herde werden grundsätzlich schlechter dargestellt als heiße (mathematische Grundlagen hierfür siehe J. Courtial et A. Gandy, 6). In jeder Position gelangt der kleinste Zylinder, welcher als heißer Herd noch sichtbar ist, als kalter Herd nicht mehr zur Darstellung. Bei allen anderen Zylindern bestehen erhebliche Unterschiede bezüglich größen- und formgetreuer Wiedergabe. Herde von 4 cm Durchmesser und 4 cm Höhe werden form- aber nicht größengetreu abgebildet, wenn sie nahe der günstigsten Fokusebene liegen.

Arithmetisches Mittel:

Da sich der schlechte Informationsanteil bei gemeinsamer Impulswertverarbeitung hier sehr stark bemerkbar macht, erhält man besonders in den asymmetrischen Anordnungen unbefriedigende szintigraphische Ergebnisse.

Geometrisches Mittel:

Kalte Herde werden durch die digitale Wiedergabe des geometrischen Mittels mindestens so gut wie auf dem besseren der beiden Einzel-szintigramme dargestellt.

DETAILLIERKENNBARKEIT BEI KAMERASZINTIGRAPHIE

10 Verwendete Geräte

Um einen Vergleich von Doppelkopf-Scanner- und Kamera-Szintigraphie zu ermöglichen, wurde mit demselben Phantom und mit analogen Versuchsanordnungen das Auflösungsvermögen einer Dyna Camera 2 mit Bildverbesserungssystem - (Image Enhancement System) überprüft (s. Abb. 10.1).

Image Enhancement System (IES) ist der Name für ein Digitalverfahren zur Farbwiedergabe von Keraszintigrammen auf Polaroidfilm. Dabei wird die in den Kernspeicher gegebene Bildinformation durch ein Programm des Digitalrechners PDP 8e der Fa. Digital Equipment auf 16 Farbstufen übertragen. Gleichzeitig werden durch die sogenannte Uniformitätskorrektur (UC) etwaige Detektorinhomogenitäten der 2500 Kanäle rechnerisch ausgeglichen.

Anhand verschiedener Einstellungen von Cut level (CL) und Background subtraction (BG) kann der Meßbereich, in dem Impulsraten in 16 Farbstufen wiedergegeben werden, individuell eingestellt werden. Zuerst bestimmt man hierbei das absolute Maximum der Aktivitätsverteilung. Durch die Wahl eines Cut level-Wertes (% des absoluten Maximums) wird ein neues, relatives Maximum (100 %) festgelegt, das auf niedrigerem Niveau liegt als das ursprüngliche absolute Maximum. Die anschließend erfolgende Background subtraction in % des relativen Max. begrenzt den endgültigen Meßbereich von unten her (s. Abb. 10.2).

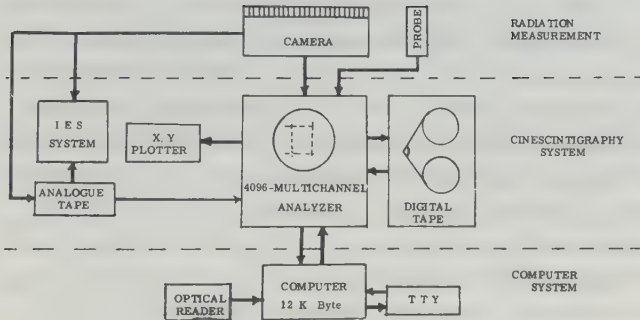


Abb. 10.1:

Blockdiagramm der Dyna-Camera 2 mit Auswertesystem

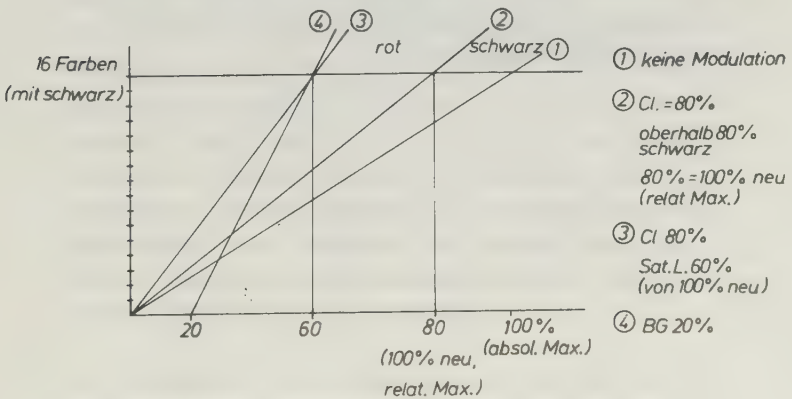


Abb. 10.2:

Farbkontrastmodulation durch Variieren von
 Cut Level (CL), Saturation Level (Sat.L.) und
 Background Subtraction (BG)

Alle Aktivitätsbezirke, deren Impulsraten außerhalb des eingestellten Intervalls liegen, werden schwarz abgebildet.

Die Aufteilung des Meßbereiches in 16 Farbstufen ordnet jeder einzelnen Farbe ursprünglich ein Intervall von 6,66 % zu, wenn keine weitere Modulation vorgenommen wird. Durch die Einstellung des Saturation Level (Sat.L.) kann aber noch festgelegt werden, zwischen welchen Prozentwerten die Farbstufe "rot" liegen soll. Entsprechend verteilen sich nun die übrigen 14 Farben auf den verbliebenen Meßbereich zu gleichen Anteilen. (Bei unseren Messungen wurde der Sat.L. nicht verändert, sondern die Farbe rot konstant zwischen 94 % und 100 % belassen)

Letztlich ist es auf diese Weise also möglich, die Empfindlichkeit des Systems zu variieren, und auch schwache Aktivitätsunterschiede farblich zu differenzieren.

11 Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kamera- szintigraphie

11.1 Zunehmende Tiefenlage des Phantoms in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter ohne Untergrund- strahlung

11.1.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Die Wanne wurde bis zur Höhe 20 cm mit Wasser gefüllt, die Zylinder des Phantoms mit einer ^{99m}Tc -Lösung der Konz. 500 $\mu\text{Ci}/100\text{ ml}$. In der Versuchsausgangslage schlossen die beiden größten Zylinder des Phantoms nach oben mit dem Wasserspiegel ab, die Phantommitte war demnach 2 cm von der Wasseroberfläche entfernt. Die Abdeckung des Kamera-Parallellochkollimators lag der Wasseroberfläche ebenfalls direkt auf.

Nach der ersten Kamera-Aufnahme wurde das Phantom in Schritten von 2 cm nach unten bewegt, und die dazugehörige Aufnahme auf Band gespeichert.

Bei jeder Tiefenlage wurden von dem Phantom mehrere Farbbilder mit unterschiedlichen Einstellungen für Cut Level (CL) und Background Subtraction (BG) angefertigt, um auch die kleinsten Herde noch erkennbar zu machen. Außerdem wurde jeweils ein Polaroidphoto vom analogen Speicheroszilloscope gemacht.

11.1.2 Die folgenden Abbildungen zeigen das Phantom in verschiedenen Tiefenlagen bei variablen Einstellungen von CL und BG (CNT_{max} = Maximal Counts, CNT_{tot} = Total Counts).

Bemerkenswert ist bei oberflächennaher Lage (s. Abb. 11.1.2.1) die gute Darstellung selbst der kleinen Zylinder mit den Abmessungen 0,5 cm Durchmesser, 0,5 cm Höhe und 0,5 cm Durchmesser, 1 cm Höhe. Es besteht kein Unterschied in der Detaillierkennbarkeit zwischen dem besseren IES-Bild (= Image Enhancement System) und dem analogen Polaroidbild.

Zum Vergleich hierzu das Bild eines Scanner-Szintigramms, ebenfalls bei optimaler Lage des Phantoms, d. h. es schließt mit der Wasseroberfläche ab und befindet sich genau in der Fokusebene des Kollimators (szintigraphiert ohne UG, mit 35 % UG ohne Subtraktion, mit 35 % UG bei 35 % Subtraktion) (s. Abb. 11.1.2.2).

Als kleinster Zylinder wird derjenige mit 1 cm Durchmesser und 1 cm Höhe angedeutet.

Im nächsten Bildbeispiel (Abb. 11.1.2.3) befindet sich das Phantom 14 cm von der Wasseroberfläche und damit auch vom Kamera-Kollimator entfernt.

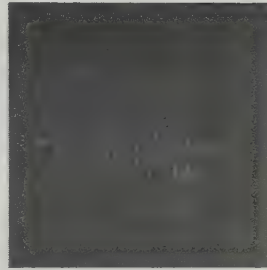
Gute Darstellung der Zylinder bis zur Größe 1 cm Durchmesser, 2 cm Höhe, der Zylinder von 1 cm Durchmesser, 1 cm Höhe wird gerade noch angedeutet.

Im letzten Bild liegt das Phantom dem Wannengboden auf, die Phantommitte ist 18 cm von der Wasseroberfläche entfernt (s. Abb. 11.1.2.4).

Im Vergleich zum vorhergehenden Bild ist lediglich der Zylinder mit 1 cm Durchmesser und 1 cm Höhe verschwunden. Der Herd von 1 cm Durchmesser und 2 cm Höhe wird noch ausreichend dargestellt. Das IES-Bild besitzt jetzt eine wesentlich bessere Konturschärfe als das Polaroidbild.

Phantommitte 2 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES



ohne UC/CL: 50 %

ohne UC/CL: 5 %

CNT_{max.} 3 172 CNT_{tot.} 164 051 BG: 1 %

b) Polaroidphoto vom analogen Speicheroszilloscope

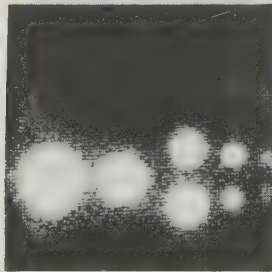


Abb. 11.1.2.1 a) und b):

Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kamera-
szintigraphie. Zunehmende Tiefenlage in einem
20 cm tiefen Wasserbehälter ohne Untergrundstrah-
lung (Konzentration in den Herden:

500 μ Ci ^{99m}Tc /100 ml)

Phantommitte 2 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES-Bilder (farbig)

b) Polaroidphoto vom analogen Speicher-
oszilloscope (schwarz-weiß)

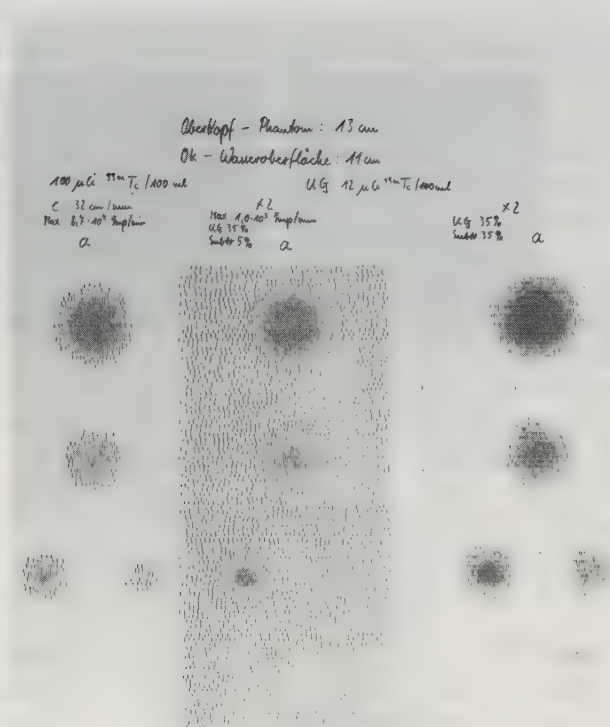


Abb. 11.1.2.2:

Scanner-Szintigramme von heißen Herden ohne und mit Untergrundstrahlung bei optimaler Lage des Phantoms (OK-Phantom: 13 cm)

Phantommitte 14 cm unter der Wasseroberfläche

a)



ohne UC

CNT_{max.} 1 553

CNT_{tot.} 137 179

BG: 5 %/CL: 10 %

b)

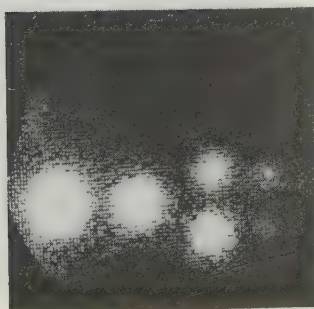


Abb. 11.1.2.3 a) und b):

Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kameraszintigraphie.

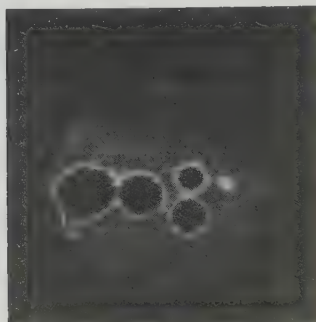
Zunehmende Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter; Phantommitte 14 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES-Bild (farbig)

b) analoges Polaroidphoto (schwarz-weiß)

Phantommitte 18 cm unter der Wasseroberfläche

a)



ohne UC

CNT_{max.} 1 473

CNT_{tot.} 125 049

BG: 5 %/CL: 10 %

b)

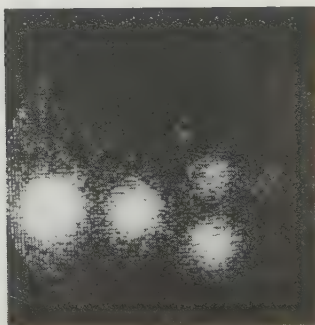


Abb. 11.1.2.4 a) und b):

Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kamera-
szintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Wasser-
behälter; Phantommitte 18 cm unter der Wasserober-
fläche

a) IES-Bild (farbig)

b) analoges Polaroidphoto (schwarz-weiß)

11.1.3 Ergebnis

Abb. 11.1.3 zeigt, bis zu welcher Tiefenlage im Wasserbehälter die einzelnen Herde von der Kamera abgebildet werden. In jeder Tiefenlage wurden die Aufnahmen mit der jeweils optimalen Bildverbesserung ausgewertet.

Bei oberflächennaher Lage des Phantoms läßt das Kamerabild Zylinder bis zur Größe von 0,5 cm Durchmesser, 0,5 cm Höhe gut erkennen. Der Zylinder mit 0,5 cm Durchmesser, 0,5 cm Höhe verschwindet auf den IES-Bildern bei einer Tiefe von 6 cm. Bis zur Tiefe 12 cm ist der Herd mit 0,5 cm Durchmesser, 1 cm Höhe noch sichtbar, und bei der Tiefe 14 cm wird der Herd von 1 cm Durchmesser, 1 cm Höhe unsichtbar. Alle anderen Zylinder bleiben während der ganzen Meßstrecke sichtbar. Es verschwinden während des Meßdurchganges also nur die 3 kleinsten Herde.

Das Polaroidphoto ist dem IES-Bild bezüglich Detailerkennbarkeit vergleichbar.

11.2 Zunehmende Tiefenlage des Phantoms in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter mit Untergrundstrahlung

Bei gleicher Versuchsanordnung und -durchführung wie oben, wurden vor dem ersten Kamerabild 7,5 mCi ^{99m}Tc -Lösung in die Wanne gegeben und durch Umrühren gleichmäßig verteilt (7,5 mCi $^{99m}\text{Tc}/40$ l Wasser = 20 μCi $^{99m}\text{Tc}/100$ ml).

Die Zylinder des Phantoms waren mit einer Tc-Lösung der Konz. 600 $\mu\text{Ci}/100$ ml gefüllt.

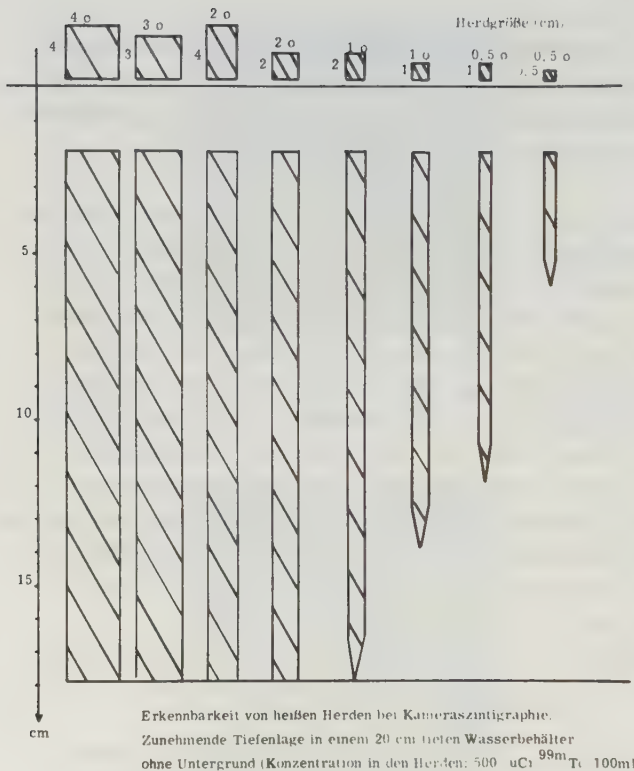


Abb. 11.1.3:

Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kameraszintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter ohne Untergrundstrahlung
(Konzentration in den Herden: 500 $\mu\text{Ci } ^{99\text{m}}\text{Tc}/100\text{ml}$)

Bei oberflächennaher Lage (s. Abb. 11.2.1) wird als kleinster Herd der Zylinder mit 1 cm Durchmesser, 1 cm Höhe, sowohl auf dem besseren der beiden IES-Bilder, als auch auf dem Polaroidphoto angedeutet.

In 8 cm Tiefe (s. Abb. 11.2.2) wird der Zylinder der Größe 1 cm Durchmesser, 2 cm Höhe noch gut auf dem IES-Photo abgebildet. Das Polaroidbild zeigt bei den großen Zylindern bereits erhebliche Unschärfen.

In 18 cm Tiefe liegt das Phantom wiederum dem Wannenboden auf (s. Abb. 11.2.3).

Das IES-Bild stellt die vier größten Zylinder dar, wenn auch undeutlich. Das Polaroidbild läßt keine Details mehr erkennen.

Ergebnis (s. Abb. 11.2.4)

Mit Untergrundstrahlung zeigt die Kamera als kleinsten Herd den Zylinder der Größe 1 cm Durchmesser, 1 cm Höhe. Er ist in der nächst tieferen Lage bereits nicht mehr auszumachen. Der Zylinder mit 1 cm Durchmesser, 2 cm Höhe beginnt bei der Tiefe 14 cm zu verschwinden. In der Endposition sind die vier größten Zylinder sicher zu erkennen.

Die analogen Polaroidphotos ergeben wesentlich schlechtere Resultate als die digitalen IES-Bilder.

Phantommitte 2 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES



ohne UC/CL: 99 %

CNT_{max.} 4 046



ohne UC/CL: 25 %

CNT_{tot.} 799 533

BG: 10 %

b) Polaroidphoto vom analogen Speicheroszilloscope

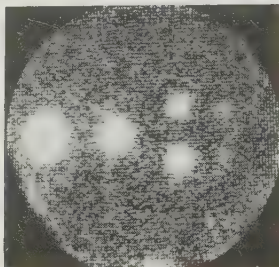


Abb. 11.2.1 a) und b):

Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kamera-
szintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Be-
hälter mit Untergrundstrahlung.

(Konzentration in den Herden: 600 μ Ci $^{99m}\text{Tc}/100 \text{ ml}$

Konzentration im Untergrund: 20 μ Ci $^{99m}\text{Tc}/100 \text{ ml}$)

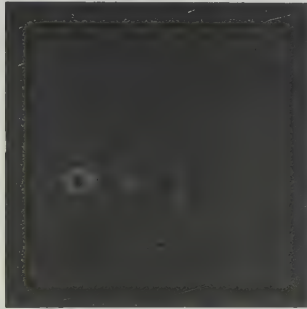
Phantommitte 2 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES-Bilder (farbig)

b) analoges Polaroidphoto (schwarz-weiß)

Phantommitte 8 cm unter der Wasseroberfläche

a)



ohne UC

CNT_{max.} 1 797

CNT_{tot.} 655 209

BG: 10 %/CL: 99 %

b)

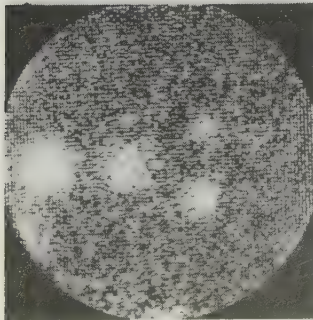


Abb. 11.2.2 a) und b):

Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kameraszintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Behälter mit Untergrundstrahlung.

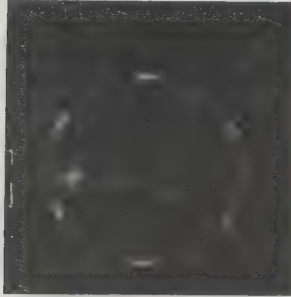
Phantommitte 8 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES-Bild (farbig)

b) analoges Polaroidphoto (schwarz-weiß)

Phantommitte 18 cm unter der Wasseroberfläche

a)



ohne UC

CNT_{max.} 1 175

CNT_{tot.} 805 542

BG: 30 %/CL: 99 %

b)

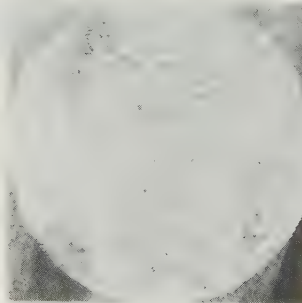


Abb. 11.2.3 a) und b):

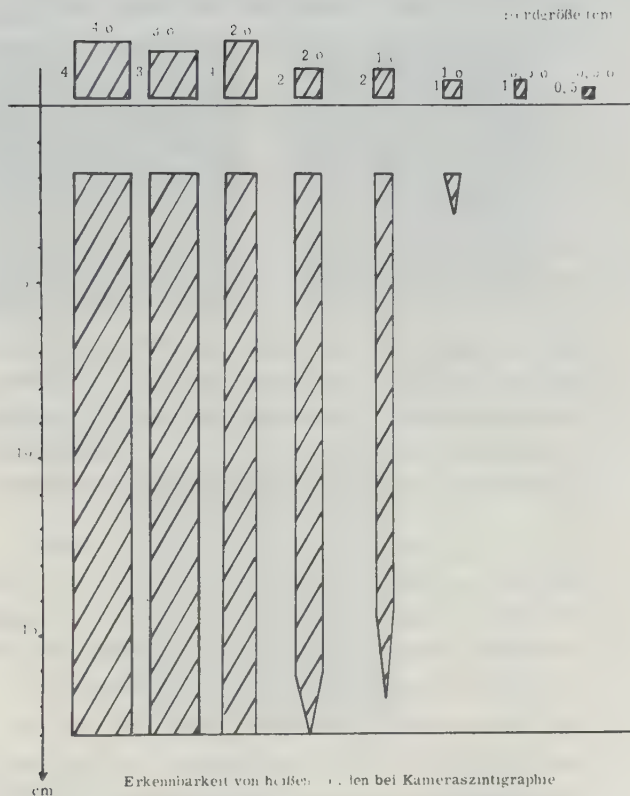
Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kameraszintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Behälter mit Untergrundstrahlung.

Phantommitte 18 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES-Bild (farbig)

b) analoges Polaroidphoto (schwarz-weiß)



Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kameraszintigraphie
Zunehmende Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Behälter mit
Untergrundstrahlung

(Konzentration in den Herden: 600 $\mu\text{Ci } ^{99\text{m}}\text{Tc}/100 \text{ ml}$

Konzentration im Untergrund: 20 $\mu\text{Ci } ^{99\text{m}}\text{Tc}/100 \text{ ml}$)

Abb. 11.2.4:

Erkennbarkeit von heißen Herden bei Kameraszintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Behälter mit Untergrundstrahlung.

(Konzentration in den Herden: 600 $\mu\text{Ci } ^{99\text{m}}\text{Tc}/100 \text{ ml}$

Konzentration im Untergrund: 20 $\mu\text{Ci } ^{99\text{m}}\text{Tc}/100 \text{ ml}$)

12 Erkennbarkeit von kalten Herden bei Kamera- szintigraphie

Zunehmende Tiefenlage des Phantoms in einem
18 cm tiefen, mit Aktivität gefüllten Behälter.

12.1 Versuchsdurchführung

Der Wasserbehälter wurde bis zur Höhe 18 cm mit
Wasser gefüllt. Diese Höhe entspricht einem
Volumen von 37 l Wasser. 12 mCi ^{99m}Tc -Lösung
wurden durch Umrühren gleichmäßig darin verteilt
und anschließend das wassergefüllte Phantom
hineingestellt. Ansonsten erfolgte die Ver-
suchsdurchführung wie oben, d. h. zunehmende
Tiefenlage des Phantoms in 2 cm-Schritten.

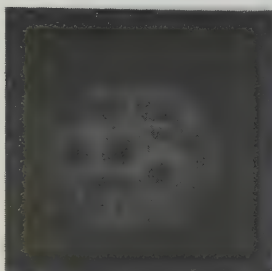
12.2 Das erste IES-Bild ist ohne Uniformitäts- korrektur (UC) aufgenommen (s. Abb. 12.2.1). Die Inhomogenitäten des Kamerafeldes täuschen mehrere unregelmäßig begrenzte kalte Bezirke neben den runden Herden des Phantoms vor.

Mit Uniformitätskorrektur stellt sich die
Aktivitätsfläche einheitlicher dar und die
kalten Herde des Phantoms heben sich deutlicher
ab. Auf dem Polaroidphoto ist selbst bei ober-
flächennaher Lage bloß eine konturlose Aktivi-
tätsfläche zu sehen.

Mit dieser kameranahen Lage des Phantoms kann
das schon bekannte Szintigramm bei einem Ab-
stand OK-Phantom: 13 cm sowie Abstand OK-Wasser-
oberfläche: 11 cm verglichen werden (s. Abb. 12.2.2).

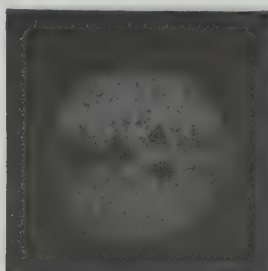
Phantommitte 2 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES



ohne UC

CNT_{max.} 1 533



mit UC

CNT_{tot.} 1 136928

BG: 50 %

b) Polaroidphoto vom analogen Speicheroszilloscope

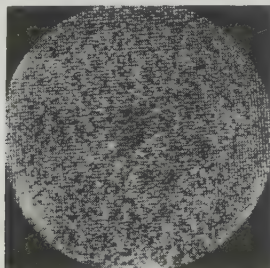


Abb. 12.2.1 a) und b):

Erkennbarkeit von kalten Herden bei Kameraszintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 18 cm tiefen, mit Aktivität gefüllten Behälter. (Konzentration: 12 mCi ^{99m}Tc in 37 l Wasser).

Phantommitte 2 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES-Bilder (farbig)

b) analoges Polaroidphoto (schwarz-weiß)

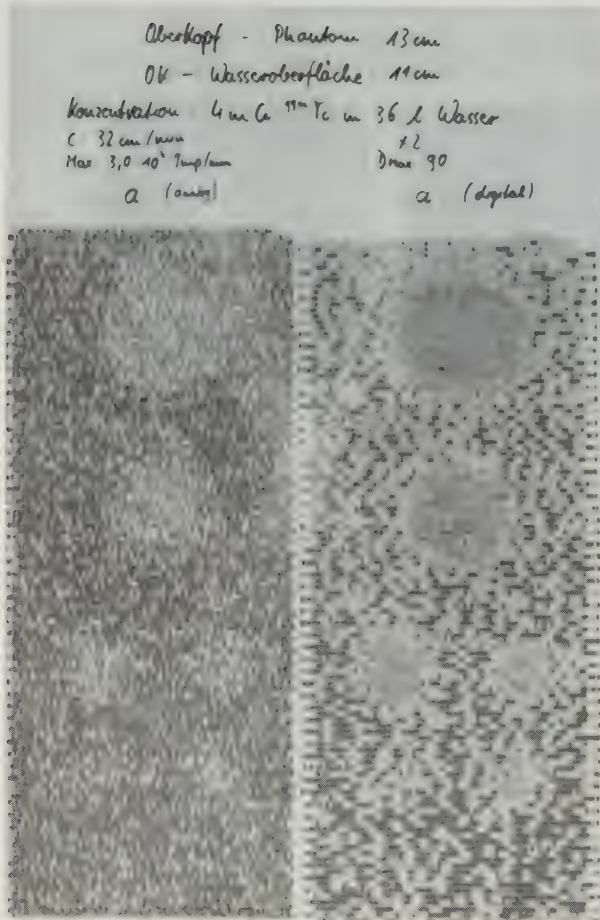


Abb. 12.2.2:

Scanner-Szintigramme von kalten Herden bei optimaler Lage des Phantoms (OK-Phantom: 13 cm)
Vergleich von analoger und digitaler Szintigrammschreibung.

Das digitale Farb-Szintigramm bildet die Herde bis zur gleichen Größe wie die Kamera ab, jedoch formgetreuer.

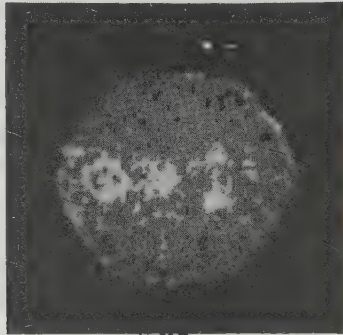
Bei einem Abstand von 6 cm zur Wasseroberfläche (s. Abb. 12.2.3) werden mit UC nur noch die beiden größten Herde in ihrer Form angedeutet. Der Zylinder mit 2 cm Durchmesser, 2 cm Höhe erscheint als unregelmäßiger kalter Herd.

Bei einer Tiefenlage von 10 cm (s. Abb. 12.2.4) sind die beiden größten Zylinder sicher zu erkennen, der Herd mit 2 cm Durchmesser und 4 cm Höhe wird angedeutet.

In 14 cm Tiefe ist dann auch der größte Herd von 4 cm Durchmesser und 4 cm Höhe nicht mehr deutlich von der Umgebung abzugrenzen.

Phantommitte 6 cm unter der Wasseroberfläche

a)



mit UC

CNT_{max.} 1 532

CNT_{tot.} 1 082 481

BG: 40 %

b)

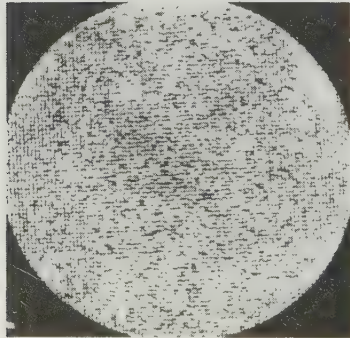


Abb. 12.2.3 a) und b):

Erkennbarkeit von kalten Herden bei Kameraszintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 18 cm tiefen, mit Aktivität gefüllten Behälter.

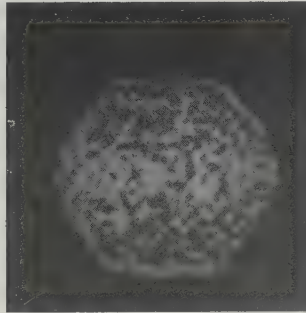
Phantommitte 6 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES-Bild (farbig)

b) analoges Polaroidphoto (schwarz-weiß)

Phantommitte 10 cm unter der Wasseroberfläche

a)



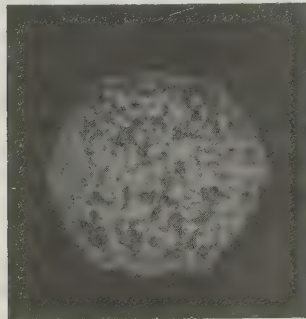
mit UC

$CNT_{tot.} > 1 \cdot 10^6$

BG: 45 %

Phantommitte 14 cm unter der Wasseroberfläche

b)



mit UC

$CNT_{tot.} > 1 \cdot 10^6$

BG: 65 %

Abb. 12.2.4 a) und b):

Erkennbarkeit von kalten Herden bei Kameraszintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 18 cm tiefen, mit Aktivität gefüllten Behälter.

Phantommitte 10 cm unter der Wasseroberfläche

a) IES-Bild (farbig)

b) analoges Polaroidphoto (schwarz-weiß)

12.2.5 Ergebnis (s. Abb. 12.2.5)

Bei oberflächennaher Lage bildet die Kamera kalte Herde bis zur Größe 1 cm Durchmesser, 2 cm Höhe ab. Das vergleichbare Scannerszintigramm stellt die gleichen Herde deutlicher dar. Bei dem Kamera-Meßdurchgang verschwinden die Herde im Untergrund in folgenden Tiefen:

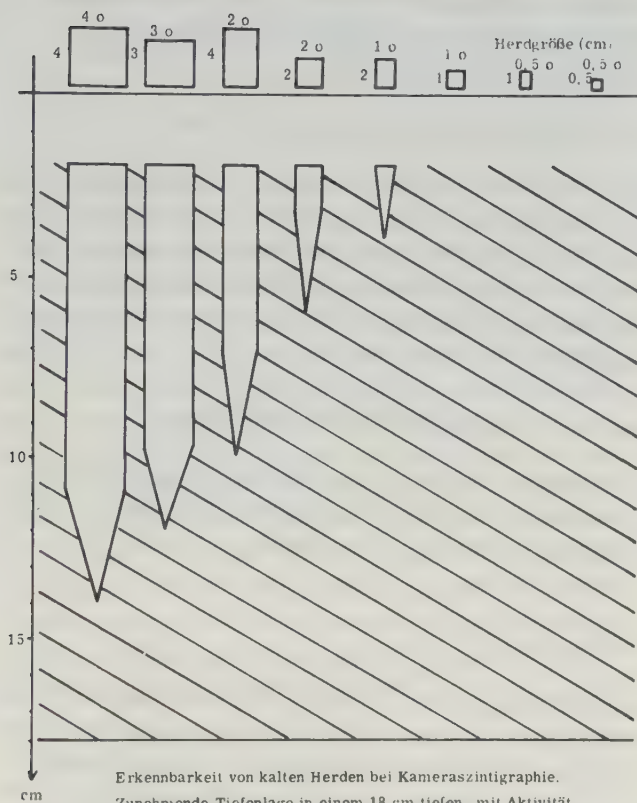
Zylinderdurchmesser (cm)	Zylinderhöhe (cm)	Tiefenlage (cm)
1	2	> 4
2	2	> 6
2	4	> 10
3	3	> 12
4	4	> 14

Tab. 8: Unsichtbarwerden von kalten Herden bei Kameraszintigraphie mit zunehmender Tiefenlage in einem 18 cm tiefen, aktivitätsgefüllten Behälter

Diese Angaben beziehen sich auf die besten Bilder mit Uniformitätskorrektur. Ohne Uniformitätskorrektur lassen sich wegen der Inhomogenitäten der Gamma-Kamera nur wesentlich schlechtere Aussagen machen.

Die analoge Polaroidphotographie gestattet nur sehr geringe Aufschlüsse über Details von kalten Herden.

Die Darstellbarkeit kalter Herde fällt also auch mit der Kamera wesentlich schlechter aus als diejenige von heißen Herden.



Erkennbarkeit von kalten Herden bei Kameraszintigraphie.
Zunehmende Tiefenlage in einem 18 cm tiefen, mit Aktivität
gefüllten Behälter. (Konzentration: 12 mCi ^{99m}Tc in 37 l Wasser).

Abb. 12.2.5:

Erkennbarkeit von kalten Herden bei Kamera-
szintigraphie.

Zunehmende Tiefenlage in einem 18 cm tiefen,
mit Aktivität gefüllten Behälter.

(Konzentration: 12 mCi ^{99m}Tc in 37 l Wasser)

13 Vergleich der Erkennbarkeit von heißen und kalten Herden bei Doppelkopfscanner - und bei Kamera-Szintigraphie

13.1 Heiße Herde ohne Untergrundstrahlung

Das Kamerabild zeigt jeweils 2 Zylinder mehr als das vergleichbare Scanner-Szintigramm. Sogar in der Endposition des Phantoms am Wannenboden liefert die Kamera immer noch Aufnahmen, die den besten Einzelszintigrammen der Fokusebene mindestens gleichwertig sind.

13.2 Heiße Herde mit Untergrundstrahlung

Die Kamerabilder sind auch bei Untergrundstrahlung den Scanner-Szintigrammen überlegen. Der Unterschied fällt allerdings nicht mehr so deutlich aus.

13.3 Kalte Herde

Liegen die kalten Herde in der Fokusebene eines der beiden Scanner-Detektoren, so liefert das Szintigramm bessere Ergebnisse als das Kamerabild. Bei gleicher Anzahl der abgebildeten Zylinder gelangen auf dem Scanner-Szintigramm deren Form und Größe etwas genauer zur Darstellung. Liegen die kalten Herde außerhalb des Fokus, so ist kein Unterschied der Detailerkennbarkeit mehr festzustellen.

Diskussion

Die Szintigraphie mit bewegtem und stehendem Detektor ist das Kernstück nuklearmedizinischer Lokalisationsdiagnostik. Ihre Hauptinformation liefert sie durch die zweidimensionale, bildhafte Darstellung der unterschiedlichen Verteilung von radioaktiven Stoffen im menschlichen Körper. Diese Verteilungsunterschiede können als Radioaktivitätsansammlungen imponieren und ganze Organe (z. B. Leber, Milz, Lunge etc.) umfassen, oder auch nur kleine Bezirke innerhalb derselben betreffen. Man spricht dann von sogenannten "heißen Herden". Unterschiede der Radioaktivitätsverteilung können andererseits auch als Aussparungen innerhalb einer homogen strahlenden Umgebung erscheinen. Sie werden "kalte Herde" genannt. Als heiße Herde werden bei der positiven Tumor-Szintigraphie z. B. Tumoren und Metastasen des Gehirns und Skelettsystems abgebildet. Das klinisch bedeutungsvollste Beispiel für kalte Herde stellen Metastasen in der Leber dar.

Die vorliegende Arbeit behandelt Probleme bei der form- und größengetreuen szintigraphischen Wiedergabe von heißen und kalten Herden einerseits bei der Doppelkopfszintigraphie, andererseits bei der Kameraszintigraphie.

Das geometrische Auflösungsvermögen sowohl des Scanners als auch der Kamera wird von mehreren Faktoren in unterschiedlichem Maße bestimmt.

In erster Linie sind dies:

1. die Kollimatoreigenschaften
2. bei der Kamera zusätzlich die "intrinsic resolution" (ohne Kollimator)

Die mit beiden Systemen erreichbare Bildqualität hängt, abgesehen vom geometrischen Auflösungsvermögen, im wesentlichen noch von folgenden Punkten ab:

1. der Nachweisempfindlichkeit für radioaktive Strahlung (Kristalleigenschaften)
2. dem Kontrast (d. h. dem Impulsratenverhältnis zwischen heißen bzw. kalten Herden und der Umgebung)
3. der Statistik
4. der Absorption und Streuung der Strahlung und damit vom Energiespektrum des radioaktiven Isotops
5. den Bildauswertesystemen

Die wesentlichen Unterschiede zwischen Scanner und Kamera betreffen das geometrische Auflösungsvermögen.

Das geometrische Auflösungsvermögen der Kamera hängt ab von der intrinsic resolution und den Kollimatoreigenschaften, während das des Scanners allein von den Kollimatoreigenschaften bestimmt wird. Die intrinsic resolution der Kamera übertrifft das geometrische Auflösungsvermögen des Scanners unter günstigsten Bedingungen bei weitem.

Der Unterschied in den Kollimatoreigenschaften besteht darin, daß die Kamera einen Parallellochkollimator besitzt, während Scannerkollimatoren fokussierend sind. Infolgedessen wirkt sich die Tiefenlage heißer oder kalter Herde auf das geometrische Auflösungsvermögen der Kamera in ganz anderer Weise aus als auf das des Scanners.

Die Entwicklung auf dem Gerätesektor hat inzwischen zur serienmäßigen Fertigung von Doppelkopfscannern geführt. Mit ihnen ist es möglich, gleichzeitig je ein Szintigramm der Ventral- und Dorsalfläche eines Körpers zu erhalten. Die getrennte Aufzeichnung zweier unterschiedlicher Informationen gab natürlich Anlaß zu den verschiedensten Möglichkeiten gemeinsamer rechnerischer Impulswertverarbeitung. Zur Beurteilung der Aussagekraft dieser aufwendigen Scannersysteme im klinischen Bereich wurden praxisbezogene Phantomuntersuchungen durchgeführt, d. h., sie wurden auf die Gegebenheiten bei Patientenuntersuchungen mit einem Scintimat 2 mit Untertischmeßkopf abgestimmt.

Die Untersuchungen sollten die Frage beantworten, wann überhaupt und unter welchen geometrischen Bedingungen der Einsatz eines Doppeldetektor-scanners sinnvoll ist, ferner, ob unter Anwendung des arithmetischen oder geometrischen Mittels die szintigraphische Darstellung tief gelegener Herde verbessert werden kann. Bei entsprechenden Versuchsanordnungen sollte darüber hinaus ein Vergleich zur Kameraszintigraphie angestellt werden.

Die Frage nach den besten Kollimatorabständen bei der Doppeldetektorszintigraphie kann dahingehend beantwortet werden, daß nur bei Kollimatorabständen kleiner als 29 cm auch die zentralen Abschnitte eines 20 cm tiefen, absorbierenden Körpers mit gleichbleibend guter Auflösung erfaßt werden. Nur bei solchen Kollimatorabständen erscheint eine gemeinsame Impulswertverarbeitung sinnvoll. Durch die bei der arithmetischen Mittelbildung erfolgende Impulsaddition werden heiße Herde mit höherer Impulsrate dargestellt als bei den Einzelszintigrammen (besonders, wenn sie symmetrisch im Zentrum des Körpers liegen). Allerdings darf auch hierbei der Anteil an Untergrundstrahlung nicht zu hoch sein (s. Kap. 8).

Kollimatorabstände größer als 29 cm bedeuten, daß nur die oberflächlichen, ventralen und dorsalen Körperschichten mit großer Empfindlichkeit dargestellt werden. Dabei verschlechtern sich die Bedingungen für die Anwendung einer gemeinsamen Impulswertverarbeitung, insbesondere für die Anwendung des geometrischen Mittels aus den in Kap. 4 und 5 dargelegten Gründen.

Die Messung des jeweils größten Kollimatorabstandes bei der Szintigraphie des Körperrumpfes von 80 Patienten ergab nun allerdings einen Durchschnittswert von 32 cm, so daß allein deswegen eine gemeinsame Verarbeitung unergiebig wird. Liegen die Herde zudem noch asymmetrisch zu den Kollimatoren, so wirkt sich neben einer guten eine mehr oder weniger schlechte Information besonders nachteilig aus.

In diesen Fällen (Kollimatorabstand größer als 29 cm) erbringt die arithmetische und geometrische Mittelbildung also keine Verbesserung in der Erkennbarkeit von heißen und kalten Herden gegenüber dem besseren Einzelszintigramm.

Auf ihre Anwendung kann daher durchaus verzichtet werden. Besonders das geometrische Mittel bringt unter den gewählten praxisnahen Bedingungen, sogar bei relativ großen Herden von 3 cm Durchmesser und Höhe eine Verschlechterung der Darstellung. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Unabhängigkeit des geometrischen Mittels von der Tiefenlage eines Herdes nur so lange gilt, wie der Herd das Kollimatorsichtfeld ausfüllt (1, 3, 5). Wie aus den Impulsratenkurven in Kapitel 5 ersichtlich, ist diese Bedingung jedoch selbst für große Zylinder von 4 cm Durchmesser und Höhe nur in kleinen Tiefenvariationsbereichen erfüllt. Die Anwendung des geometrischen Mittels ist somit nur sinnvoll zur Messung der Gesamtaktivität in größeren Volumina (2, 4).

Für die vergleichenden Phantomuntersuchungen mit der Kamera stand ein Gerät älteren Typs (Baujahr 1971) zur Verfügung. Ihre Eigenauflösung beträgt 4,8 mm, neuere Kameras besitzen eine Auflösung von ungefähr 3 mm. Außerdem erlauben die neuen Speicheroszilloskope eine bessere Wiedergabe der Analogbilder. Bei unseren Untersuchungen ergaben die analogen Polaroidphotos wesentlich schlechtere Resultate als die digitalen Computer-Bilder.

Bei dem Vergleich von Kamerabildern und Scanner-szintigrammen ist, wie anfangs schon grundsätzlich erläutert, darauf hinzuweisen, daß sich die Tiefenlage des Phantoms im Behälter bei beiden Meßsystemen unterschiedlich auswirkt. Da die Kamera keinen fokussierenden, sondern einen Parallellochkollimator besitzt, wird durch den Abstand Phantom - Kollimator lediglich das Ausmaß von Absorption und Streuung beeinflusst. Beim Scanner hingegen mit seinen fokussierenden Kollimatoren ist außer den oben genannten Größen auch noch die Lage des Phantoms zur jeweiligen Fokusebene von entscheidender Bedeutung. Liegt das Phantom in einer Fokusebene, dann bestimmt von den geometrischen Größen ebenfalls nur noch die Absorptionsstrecke die Bildqualität.

Unter diesen für den Scanner natürlich sehr günstigen Voraussetzungen, die in der Praxis nicht immer erfüllt sind, wurden alle Aufnahmen, welche die obigen Bedingungen erfüllten, verglichen.

Die Kameraszintigraphie erweist sich insgesamt bei der Detaillierkennbarkeit von heißen Herden der herkömmlichen Szintigraphie deutlich überlegen. Bei heißen Herden ohne Untergrundstrahlung zeigt das Kamerabild durchschnittlich 2 Zylinder des Phantoms mehr als das vergleichbare Szintigramm. Die Kamera liefert sogar in der Endlage des Phantoms am Wannenboden immer noch Bilder, die den besten Einzelszintigrammen der Fokusebene mindestens gleichwertig sind. Auch heiße Herde mit Untergrundstrahlung werden mit der Kamera besser abgebildet. Der Unterschied zu den Scanner-Szintigrammen fällt jedoch nicht mehr so deutlich aus. Trotzdem wird die lücken-

lose Tiefendarstellung eines adipösen Patienten mit der Kamera eine Untersuchung von dorsal und ventral, also einen zweiten Arbeitsgang erfordern (ein Doppeldetektorsystem erübrigt den zweiten Arbeitsgang). Dies hat aber vergleichsweise keinerlei Zeiteinbußen zur Folge. Da ein Szintigramm mit der Gamma-Kamera weniger als fünf Minuten dauert, sind Untersuchungen in drei oder besser noch vier Projektionen in der gleichen Zeit realisierbar wie ein Szintigramm mit einem Doppelkopfscanner von dorsal und ventral.

Kalte Herde sind sowohl mit dem Scanner als auch mit der Kamera wesentlich schlechter zu erkennen als heiße Herde.

1964 konnten Courtial und Gandy anhand der Berechnung des sogenannten "Flächenauflösungsvermögens" unter anderem auch mathematisch begründen, warum in einer strahlenden Umgebung heiße Herde leichter zu erkennen sind als kalte. Die zur Herderkennung notwendige signifikante Impulsratendifferenz zwischen Herd und Umgebung wird vom heißen Herd eher erreicht, da er selbst das Impulsmaximum bestimmt, welches theoretisch ein unbegrenztes Vielfaches der Untergrundstrahlung werden kann. Beim kalten Herd hingegen ist die maximal mögliche Impulsratendifferenz bereits durch die strahlende Umgebung festgelegt, und das Impulsratenverhältnis ist daher stets ≤ 1 .

Die Darstellung kalter Herde ist daher prinzipiell nur wesentlich ungenauer möglich.

Zunächst erscheint es überraschend, daß die Kamera, welche bei der Abbildung heißer Herde so deutlich überlegen ist, kalte Herde etwas ungenauer abbildet als der Doppelkopfscanner (solange sie sich in der Nähe der Fokusebene eines Kollimators befinden).

Der Grund hierfür ist - wie schon früher betont - in den Kollimatoreigenschaften zu suchen. Die Kamera erfaßt mit dem Parallellochkollimator bei jeder Einstellung die strahlende Aktivitätslösung in der Wanne in ihrer ganzen Tiefe, nur abhängig von der jeweiligen Absorption durch die darüberliegenden Wasserschichten. Infolgedessen sind die Impulsraten außerhalb des Herdes tiefenunabhängig, während die über dem kalten Herd gemessene Impulsrate sich mit wachsender Tiefenlage des Herdes an die Umgebung angleicht; d. h., der Kontrast nimmt ab.

Anders liegen die Verhältnisse beim Scanner mit einem fokussierenden Kollimator. Dieser erfaßt die Aktivität mit größter Empfindlichkeit jeweils nahe der Fokusebene, im einzelnen abhängig von der Kollimatorcharakteristik. Die fokussierenden Eigenschaften des Kollimators schützen die kalten Herde in der Fokusebene gleichsam vor einer Überstrahlung aus tiefer und oberflächlicher gelegenen Aktivitätsschichten.

Eine Verbesserung in der Wiedergabe von kalten Herden bei Scannerszintigraphie ist zudem durch digitale Szintigrammschreibung möglich.

Wegen des schwachen Kontrastes zwischen kalten Herden und Umgebung ist bei Kameraszintigraphie zur sicheren Herdabgrenzung wegen der Inhomogenität des Kamerafeldes ein digitales Korrektur-

verfahren (Uniformitätskorrektur) unbedingt vonnöten. Häufig bewegen sich die Impulsratenunterschiede nämlich in der Größenordnung der Kamerafeld-Inhomogenitäten, wodurch zusätzlich kalte Herde vorgetäuscht werden. Daher ist für den Nachweis von kalten Herden mit der Szintillationskamera eine möglichst gute Homogenität im Sichtfeld zu fordern, die 10 % Ungenauigkeit unterschreiten sollte. Wird diese Forderung nicht erreicht, so ist eine Uniformitätskorrektur erforderlich, um die oben aufgeführten Fehlermöglichkeiten zu vermeiden und die Erkennbarkeit zu verbessern (vgl. S. 83 Abb. 12.2.1).

Zusammenfassung

1. Zur Ermittlung der optimalen Kollimatorabstände für die Szintigraphie mit einem Doppeldetektorscanner wurden Szintigramme einer schrägen Linienquelle in einem Wasserbehälter bei verschiedenen Kollimatorabständen angefertigt. Nur bei Kollimatorabständen von weniger als 29 cm ist dabei die Erfassung eines 20 cm tiefen, absorbierenden Körpers mit etwa gleicher Empfindlichkeit auch in seinen zentralen Teilen gewährleistet.

Der durchschnittliche Kollimatorabstand bei der Szintigraphie des Körperrumpfes von 80 Patienten betrug jedoch 32 cm, so daß der verwendete Doppelkopfscanner in der Praxis keine lückenlose Erfassung tiefgelegener Herde erlaubt.

2. Mathematisch-theoretische Überlegungen führten zu dem Schluß, daß immer dann schlechte Voraussetzungen für die Anwendung des geometrischen Mittels herrschen, wenn die Herdgröße wesentlich kleiner als der Kollimator-sichtbereich ist. Zur Bestätigung dieser Theorie in der Praxis wurden die Impulsraten von heißen Herden eines Plexiglasphantoms in Abhängigkeit von der Tiefenlage in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter gemessen.
3. Um zu prüfen, ob die Detailerkennbarkeit von tief gelegenen heißen und kalten Herden durch gemeinsame Impulswertverarbeitung verbessert werden kann, wurden 4 typische Positionen des Phantoms ausgewählt und Farbstrichszintigramme

geschrieben. Ein Vergleich der Ergebnisse des arithmetischen und geometrischen Mittels mit denen der Einzelszintigramme zeigt, daß der Informationsgehalt des jeweils besten Einzelszintigramms dem des arithmetischen Mittels mindestens gleichwertig ist. Meist übertrifft er auch den des geometrischen Mittels bei weitem. Lediglich bei symmetrischen Versuchsanordnungen ohne Untergrundstrahlung ermöglicht die arithmetische Mittelbildung eine etwas bessere Auflösung aufgrund der höheren Impulsraten.

Bei der insgesamt unbefriedigend ausfallenden Szintigraphie von kalten Herden wurde eine Verbesserung der Herddarstellung durch digitale Szintigrammschreibung erreicht.

4. Das selbe Phantom und analoge Versuchsanordnungen dienten zur Überprüfung des Auflösungsvermögens einer Dyna-Camera 2 und ermöglichten einen Vergleich mit der Doppelkopfschanner-Szintigraphie. Die Detailerkennbarkeit von heißen Herden wurde bei zunehmender Tiefenlage des Phantoms in einem 20 cm tiefen Wasserbehälter ohne und mit Untergrundstrahlung gemessen, wobei die analogen Polaroidphotos meist schlechtere Resultate erbrachten als die digitalen IES-Bilder. Dem Doppelkopfschanner war die Kamera hierbei deutlich überlegen. Bei der Detailerkennbarkeit von kalten Herden hingegen zeigte die Scannerszintigraphie etwas bessere Ergebnisse als die Kameraszintigraphie, solange die Herde in der engbegrenzten Fokusebene lagen. Zur Erklärung dieser überraschenden Tatsache werden die Kollimatoreigenschaften beider Meßsysteme diskutiert.

Literaturverzeichnis

1. Arimizu N., A. C. Morris jr.:
Quantitative measurement of radioactivity in
internal organs by area scanning.
J. Nucl. Med. 10 (1969) 265
2. Schlichting R., R. Präg, F. Wolf, E. Krönert:
Geometrieunabhängige Lokalisationsaussage durch
Doppeldetektor-Szintigraphie mit elektronischer
Datenverarbeitung.
in: Nuklearmedizin, Hrsg.: H. W. Pabst, G. Hör,
Schattauer Stuttgart - New York 1972
3. Mayneord, W. V.:
Some applications of nuclear physics to medicine.
Brit. J. Radiol. Suppl. 2 (1950) 168
4. Müller-Schauenburg W., K. Bäucker, U. Feine:
Über das Prinzip des geometrischen Mittels bei der
Quantitativen Doppel-Detektor-Szintigraphie und
weitere Schritte zu einer vollständigen Korrektur
der Schwächung.
Fortschr. Röntgenstr. 118 (1973) 589
5. Sharma, R. R.:
Depth independence in quantitative radioisotope
imaging.
Brit. J. Radiol. 41 (1968) 949
6. Courtial, I., A. Gandy:
Note sur la sensibilité et le pouvoir de resolution
en scintigraphie.
in: Medical Radioisotope Scanning, Bd. I
Int. Atomic Energy Agency. Wien 1964

Herrn Priv.-Doz. Dr. H. G. Heinze danke ich für die Überlassung des Themas, besonders aber für Anregungen, Rat und Unterstützung. Ganz herzlich möchte ich mich bei Herrn Dr. R. Rohloff und Herrn Dr. R. Kantlehner bedanken für ihre wertvolle Hilfe in der methodischen Einführung und der Betreuung beim experimentellen Aufbau.

Mein Dank gilt auch allen Beschäftigten der Nuklearmedizinischen Abteilung und hier besonders Fräulein Völzke für ihre Hilfe bei der Erstellung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. med. J. Lissner bin ich zu Dank verpflichtet für die Möglichkeit, in seiner Klinik die Versuche durchführen zu können.

Lebenslauf

Am 28. Juli 1950 wurde ich, Helmut Feucht, in Altenmarkt Ndb. geboren. Meine Eltern sind Eugen Feucht, Beamter a.D. und Josefa Feucht, geb. Stadler (gest. am 27. 9. 1974). Von 1956 bis 1961 besuchte ich die Volksschule zuerst in Altenmarkt, dann in Dommelstadl, wohin wir 1958 übersiedelten. 1970 legte ich das Abitur am mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig des Adalbert Stifter Gymnasiums in Passau ab. Das Medizinstudium begann ich im Wintersemester 1970/71. Nach bestandenen Vorphysikum (SS 71) und Physikum (WS 72/73) war ich kurzzeitig als Hilfsassistent am Biochemischen Institut und am Anatomischen Institut beschäftigt. Das Staatsexamen legte ich am 9. Juni 1976 ab. Vom 1. September 1976 bis 28. Februar 1977 arbeitete ich als Medizinalassistent an der Medizinischen Innenstadt-Klinik der Universität München.

